

PROYECTO FIN DE CARRERA N° 1564

LNG MEMBRANA 51.000 m³

CUADERNO 0
MEMORIA EXPLICATIVA



ENRIQUE DOPICO

TUTOR: Dn SEBASTIAN ABRIL PEREZ

1. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO

TIPO DE BUQUE:	LNG con tanques tipo membrana.
TRIPULACIÓN:	30 personas.
PESO MUERTO:	32000 Toneladas.
VELOCIDAD EN PRUEBAS:	17,5 nudos al 90% de la M.C.R, 21 % de margen de mar.
PROPULSIÓN:	Turbina marina a vapor. Hélice de palas fijas
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO:	4 bodegas con tanques de tipo membrana de capacidad total de 51000 m ³ (100 % y -163°C). Combustible 3000 m ³ . D.O 250 m ³ . Agua dulce 200 m ³ . Agua destilada 200 m ³ . Aceite 200 m ³ .
EQUIPO DE MANIPULACIÓN DE CARGA:	8 bombas de descarga de 700 m ³ /h a 150 mcl, 4 bombas de achique de 25 m ³ /h a 150 mcl
CLASIFICACIÓN Y COTA:	Bureau Veritas.+I3/3, Liquefied Gas Carrier, deep sea, AUT, AUTPORT.
REGLAMENTOS Y LIMITACIONES:	B.V, SOLAS código gas.
OTROS REQUERIMIENTOS:	Gas inerte. Generador de nitrógeno. Detección de gases en espacios vacíos y lastres.

2. TIPO DE BUQUE, OPERACIÓN Y CONSECUENCIAS SOBRE EL PROYECTO DE SUS CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES.

Vamos a detallar la operación básica del buque, y así ir viendo los equipos necesarios para la misma y las consecuencias que sobre el proyecto éstos tienen:

Partimos del buque en puerto, con los tanques en condiciones ambiente: presión, temperatura y composición. La carga del buque la constituye gas licuado, con una composición del 98% en metano, a presión ambiente y temperatura de -163°C, que será aproximadamente la de cambio de fase liquido-gas de la carga. Como es evidente, menor temperatura no interesa al no existir variaciones apreciables en la densidad de la carga, y sí encarecer el coste de enfriamiento y aislamiento.

El tipo de carga nos condiciona el buque en tres aspectos fundamentales:

- Los relativos a la seguridad en las maniobras de carga y descarga, debiendo evitarse la presencia de una atmósfera peligrosa en los tanques al recibir el gas de la terminal, debiendo también eliminarse el agua presente.
- La temperatura de la carga, que deberemos mantener, y que puede dañar el tanque por choque térmico si no lo acondicionamos previamente.
- El tratamiento del “boil off”

Así, la maniobra de carga se lleva a cabo en los siguientes pasos, de los que iremos desgranando los equipos necesarios para llevarlos a cabo.

2.1 PREPARACIÓN DE LA ATMÓSFERA DENTRO DE LOS TANQUES

Inicialmente tenemos aire a condiciones ambiente de temperatura, composición y presión.

Deberemos pues inertizar el ambiente. Esta operación la vamos a efectuar en dos etapas:

- circularemos por el tanque CO₂ para hacer una primera “limpieza”, y eliminar así el oxígeno y agua presentes en el aire. Para ello necesitaremos un generador de gas inerte, que podemos materializar mediante una extracción de los gases de escape de la caldera, el motor principal y/o auxiliares, o de un generador propiamente dicho.
- circulamos por el tanque N₂ y así eliminamos el CO₂ presente, fruto de las circulaciones anteriores, obteniendo así la atmósfera definitiva que vamos a poner en presencia de la carga.

Necesitaremos para este proceso de los compresores y líneas de alimentación para introducir los gases en los tanques y para su posterior evacuación, así como sendos generadores de gas inerte CO₂ y N₂.

2.2 ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE LOS TANQUES DE CARGA

Debido a que la carga la vamos a recibir y a transportar a una temperatura aproximada de unos -163°C , no es posible descargar directamente sin previamente enfriar los tanques a una temperatura cercana a ese valor, pues el choque térmico que provocaríamos dañaría los mismos permanentemente.

Para ello, se disponen dentro de los tanques unos rociadores que van a repartir por las paredes gas licuado procedente de la terminal, y así conseguir bajar la temperatura de su superficie en torno a unos -150°C . Así mismo, las tuberías procedentes de la terminal y las del buque, deberán también estar a temperatura adecuada.

Habremos de disponer para ello de unos rociadores dentro de los tanques, así como bombas de alimentación y compresores de extracción del gas ya evaporado.

2.3 TRATAMIENTO DEL GAS EVAPORADO, O “BOIL OFF”, DURANTA LA NAVEGACIÓN

Durante la navegación normal del buque, un tanto por ciento de la carga se va evaporando, debido al calor que reciben los tanques del exterior. Podemos acometer este problema de tres maneras:

- a) Descargar directamente a la atmósfera el gas evaporado.
- b) Recircular el gas hacia los tanques, previamente re-criogeneizado por algún procedimiento
- c) Emplear el gas para la combustión en calderas. Será el procedimiento que emplearemos.

Todo lo anterior, se materializa en los siguientes requerimientos para el buque, en lo que respecta a la carga, tanques y equipos necesarios:

2.3.1 Consideraciones generales

-Los tanques y equipos de carga se diseñarán para alojar gas licuado en 4 bodegas a presión atmosférica. El tarado de sus válvulas de seguridad será de 0.22 bar.

-La temperatura mínima a considerar será de -163°C

-Los tanques de carga serán de tipo membrana, según el diseño de “TECNIGAZ & GAZ TRANSPORT” del tipo n° 96, los requerimientos de la sociedad de clasificación (B.V.), y el código I.C.G.

-El volumen máximo de carga será del 98,5% del tanque.

Durante el viaje cargado el volumen será no menor del 80%, y durante el viaje en lastre inferior al 10%, aunque suficiente para mantener la temperatura de los tanques. Así mismo, el buque admitirá cualquier combinación de tanques vacíos / llenos, empleando el lastre para corregir los esfuerzos.

2.3.2 Boil Off

El aislamiento de los tanques será el necesario para mantener en el viaje normal una tasa de evaporación no superior al 0.150% del peso total, por día, con unas condiciones:

Temperatura del agua	32 °C
Temperatura ambiente	45 °C
Densidad de la carga	425kg/m ³
Entalpía de evaporación	510 kJ/kg

En caso de no ser suficiente para el consumo de las calderas, debido a condiciones ambiente distintas, se forzará el “boil off” mediante calentadores dispuestos dentro de los tanques de carga.

2.3.3 Construcción de los tanques

Cada uno de los tanques consiste en barreras primaria y secundaria, soportadas por aislamientos primario y secundario.

-El aislamiento secundario consiste en una caja de aglomerado de 0.3m de espesor, relleno de perlita, y soportado por el casco.

-La barrera secundaria la constituye una lámina de acero al níquel al 36%, que unida al aislamiento secundario forma una barrera para evitar el escape del gas.

-El aislamiento primario es de 0.23m de espesor, de igual construcción que el secundario, extendiéndose sobre la barrera secundaria, unida rígidamente al casco en su parte interior.

-La barrera primaria, que contiene el gas, es de la misma composición que la secundaria, y se une al aislamiento primario.

En condiciones normales de operación, los espacios de aislamiento se hallan bajo una leve presión positiva, e inertizados con nitrógeno.

2.3.4 Conexiones de los tanques de carga

Cada uno de los tanques de carga tiene una entrada de gas situada cerca del punto más alto del tanque.

La entrada de carga principal y el acceso al tanque se encuentra en la parte más a popa del tanque, que llamaremos entrada de gas líquido.

Los tanques tendrán las siguientes conexiones:

PARTE DE POPA(LIQUIDO)

Entrada de la bomba principal de carga, con válvula de asiento, compartida con la bomba de emergencia.

- Dos tomas para las bombas de descarga.
- Una línea de descarga del gas de rociado.
- Una entrada para la línea de calentamiento.
- Sensores térmicos, de nivel.
- Conexiones de cebado de las bombas.
- Línea principal.
- Medidores de nivel, tipo flotador y CTS.
- Conexiones eléctricas y de instrumentación.

PARTE SUPERIOR(GAS)

- Dos sistemas de rociado
- Una línea de vapor de calentamiento forzado
- Conexiones de las válvulas de seguridad
- Conexiones de válvulas de seguridad del sistema de cubierta y de Descarga.

2.3.5 Posibles operaciones

-Preparación para recibir carga tras período de inactividad:

- Inertización de tanques
- Inertización o vaciado de espacios aislados
- Llenado con gas
- Enfriamiento

-Ciclo normal de transporte

Llenado con LNG
Vaciado de tuberías
Viaje cargado
Descarga
Descarga de emergencia en caso de fallo de las bombas
Vaciado de tuberías
Viaje en lastre

-Preparación para amarre/reparación/dique:

Calentamiento de tanques
Inertizado
Aireación de tanques

El diseño de las líneas de gas será de forma que permita el calentamiento, inertizado, vaciado y enfriamiento de un tanque de carga mientras el resto de ellos permanecen llenos o conteniendo carga vaporizada.

2.3.6 Equipo de manejo de la carga

Constará de lo siguientes elementos:

- Bombas de carga : 4x700 m³/h
- Bombas de rociado
- Bomba de emergencia
- Compresores principales
- Compresores auxiliares
- evaporador de LNG
- Calentador de evaporación forzada
- Calentador principal de carga
- Calentador auxiliar de carga
- Generador de nitrógeno
- Generador de gas inerte

3. ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA DEL PRODUCTO. SOLUCIONES HABITUALES Y NOVEDOSAS

Vamos a dividir estos comentarios sobre las soluciones que se han ido adoptando en la construcción de este tipo de buques en dos grandes materias : contención de la carga y propulsión.

3.1 TANQUES DE CARGA

3.1.1 LNG

Existen dos grandes grupos en la metodología de contención del gas natural, que son el gas licuado LNG, a presión ambiente y baja temperatura; y el gas a presión o CNG, a temperatura ambiente o próxima a ella, y presiones en el rango de los 150 y 500 bares. Tradicionalmente se ha empleado la primera técnica, predominando los tanques esféricos al principio, empleados por la mayoría de los buques actualmente en servicio, y últimamente con tanques de membrana, siendo estos últimos los que se están instalando en la mayoría de buques en construcción.

Los tanques de membrana, que vamos a instalar en este proyecto, se desarrollan en la década de los sesenta, siendo el primer buque construido en nuestro país del año 70. Esta tecnología se debe a las empresas GAZ TRANSPORT y TECNIGAZ, que desarrollaron dos sistemas de tanques de membrana, uno basado en tanques corrugados, denominado TECNIGAZ Mark III en su última versión, y el otro GAZ T. n° 96, basado en el empleo del invar, aleación de acero con nickel al 35-36 %, que desarrolló la compañía Inphy Ungine Précision.

Estas versiones son dos soluciones a las fuertes contracciones que sufren los tanques al recibir el gas frío, que en un caso son absorbidas por el mamparo debido a su perfil corrugado, y en la otra el material empleado es prácticamente estable en el rango de temperaturas de trabajo del tanque (de 40 a -163 °C).

Actualmente, estas compañías se han fusionado, y fruto de la unión han desarrollado una tecnología conjunta, el GTT composite CS1, un nuevo sistema de aislamiento de una sola membrana, que supuestamente combina las ventajas de las anteriores, estando en fase de homologación y puesta al día de los reglamentos. Este sistema emplea un aislamiento de espuma de poliuretano reforzada, con dos membranas, la primera de invar y la segunda de un compuesto aluminio-fibra de vidrio denominado "triplex".

En nuestro caso emplearemos la tecnología invar. Las diversas versiones que se han ido desarrollando han sido en principio el invar M63, y posteriormente el M93, que apareció en los 80 y mejora al anterior en su soldabilidad, desapareciendo los problemas que con el anterior se daban en soldadura con material de aporte (el invar se suelda habitualmente por resistencia), pudiendo también repararse el M63 con hilo de M93. Este es el material actual. Existe ya un nuevo material, el invar MXX, cuya resistencia a la corrosión y soldabilidad supera a los anteriores, siendo perfectamente compatible con ellos.

Desde su uso en los primeros LNG's, este sistema ha demostrado su fiabilidad y seguridad, frente a los esfuerzos mecánicos impuestos, tanto en las operaciones de carga y descarga como en los movimientos del buque en la mar, así como su resistencia a ciclos térmicos completos o parciales en los viajes en carga o lastre, o paradas técnicas programadas.

En cuanto a los buques con tanques esféricos, la patente generalizada actualmente son los buques tipo Moss Maritime-Kværner, de los cuales existen tres versiones, los 102, 137 y 147, números que corresponden al volumen de carga. Son de cuatro tanques esféricos, realizados con aleaciones de aluminio o acero al 9% de nickel. También existe una patente española de Sener, de buques GPL y GNL.

En este tipo de buques, los tanques y la estructura del casco son independientes, siendo éstos autosoportados, y no transmitiendo al casco los esfuerzos térmicos. Los esfuerzos debidos a la carga de los tanques actúan sobre ellos, al ser autosoportados, y no directamente sobre el material de aislamiento, sino sobre los medios de sujeción de los mismos. Así, la resistencia estructural y el aislamiento térmico se centran en los medios de sujeción de los tanques y no sobre todo el casco. Las barreras secundarias se colocan para evitar daños en el casco en caso de pérdida accidental de carga de los tanques. La estructura esférica evita la concentración de esfuerzos.

Además, se coloca una estructura cilíndrica que rodea los tanques en su zona ancha, absorbiendo ésta las posibles deformaciones térmicas. Este tipo de estructura, con simetría axial y de los tanques, es así mismo muy favorable en los cálculos estructurales. La limitada propagación de grietas en este tipo de estructura, los hace los más seguros en este tipo de aplicaciones.

Vamos a comparar ambos sistemas de tanques, viendo sus ventajas frente a la otro tipo:

-Tanques de membrana-

- Para un mismo volumen de carga, resulta un casco menor, debido a un mayor aprovechamiento del espacio comparado con los esféricos, y así un menor GT. Las consecuencias sobre el buque y su explotación son:
 - menor potencia propulsora a instalar
 - menores gastos de puerto
- el buque se ve menos afectado por olas y viento, al tener una superficie velica menor.
- mejor maniobrabilidad
- mejor visibilidad, muy limitada en el caso de esferas

-Tanques esféricos-

- en caso de varada, la estructura autoportante de la carga la aísla y no se ve afectada.
- mayor versatilidad en carga y descarga
- mejor estabilidad, al no tener los problemas con superficies libres de los tanques de membrana
- Posibilidad de presurizar las esferas durante la descarga

Existe además una patente japonesa de tanques autosoportados, que son los SPB de la empresa IHI (Ishikawajima Harima Heavy Industries), que se basa en un tanque con mamparos autosoportados, contruidos en aluminio, que se alojan en el interior de una bodega de tipo bulkcarrier tradicional, admitiendo carga parcial, y resultando un buque de cubierta corrida de tipo petrolero, y con total flexibilidad en la posible renovación o reparación de tanques, pues son fácilmente extraíbles del casco del buque. Tiene como desventaja fundamental su alto coste, pues debemos construir dos estructuras completas de doble casco, una del buque en sí y otra para los tanques.

3.1.2 CNG:

Como respuesta a la creciente demanda de nuevas tecnologías de transporte de gas, fuente de energía en alza, y buscando un sistema más económico que los ya conocidos, como son los gaseoductos submarinos y los buques LNG, aplicable a gaseoductos pequeños offshore, surge esta idea de transportar el gas presurizado.

Los recientes avances en soldadura, materiales, y sistemas de carga offshore mediante petroleros shuttle, con boyas oceánicas, procedimiento éste último que ha demostrado su operatividad y seguridad en éstos últimos años, así como la necesidad de evitar el quemado del gas procedente de pozos de petróleo y los efectos negativos de la re-inyección en la recuperación del crudo, están favoreciendo los estudios dedicados a la viabilidad de este tipo de buques.

Simplificadamente, se trata de un buque que almacena el gas a una presión de entre 150-500 bares, con posibilidad de carga en la mar similar a un petrolero shuttle. La mejor forma de almacenamiento es con tanques de forma cilíndrica, con los tubos formando haces o paralelos.

Las soluciones que hasta el momento se han estudiado, son

- Cran and Stenning propone el uso de bobinas con tubería de 10", económicas y con poca valvulería. Sus desventajas son el poco aprovechamiento del espacio y los posibles esfuerzos de contacto tras la dilatación bajo presión.

- Knutsen, EnerSea y otros proponen tubos paralelos de acero de gran diámetro, de los que se necesitarían en torno al millar. El aprovechamiento del volumen es mayor, implicando una valvulería más complicada y mayor trabajo de montaje abordo.
- DNV propuso unos tanques celulares en los que se reparta el esfuerzo por las paredes, aunque con el mejor aprovechamiento del volumen, es el más caro y complicado en la fabricación.

En todos ellos, se han hecho estudios con carga a temperatura ambiente y con enfriamiento, empleando nitrógeno, que a su vez también sirve como gas inerte. Se ha tenido en cuenta también el enfriamiento durante la descarga.

Sus posibles ventajas, son:

- a) En el transporte oceánico CPG, el activo fijo representa el 15% de la inversión, lo que lo hace mucho más flexible.
- b) Su aplicación como extracción del gas en pozos de petróleo, en vez de re-inyectarlos, es sin duda la más atractiva.
- c) Presenta la misma eficiencia energética que un gaseoducto, y tres veces más que un LNG
- d) La tecnología es conocida, y resulta rentable para una amplia serie de yacimientos y distancias.

Y tiene como inconvenientes:

- a) relación peso en rosca/peso muerto alta, que implica grandes calados y posible incompatibilidad con puertos y diques, así como en su construcción.
- b) es imposible una infraestructura de almacenaje offshore de gas CPG, lo que implica una disponibilidad de transporte muy alta.
- c) inversión es del doble, para la mitad de carga, comparado con un LNG, lo que es sin duda la barrera más importante.
- d) Ausencia total de reglas o normas.

3.2 SISTEMA DE PROPULSIÓN

El sistema de propulsión a instalar será el clásico en este tipo de buques, de turbina marina a vapor, con caldera de combustible dual HFO/BOG. Para la generación eléctrica se dispondrán turbogeneradores.

Este tipo de instalación es la solución que se ha venido adoptando durante años en los buques LNG, debido al fácil aprovechamiento del Boil off en la caldera, su simplicidad, limitado y económico mantenimiento, así como el conocimiento generalizado por parte de las tripulaciones de estas instalaciones.

Últimamente, se han realizado estudios de plantas propulsoras alternativas a la turbina de vapor, debido a su poca eficiencia y las repercusiones medioambientales de la elevada tasa de NO_x en el escape.

Las alternativas propuestas son

3.2.1 Motor diesel 2T

Durante años, la falta de potencia propulsora en las tareas de mantenimiento se ha considerado como un obstáculo, bajo el punto de vista de la seguridad, para la instalación de estos motores abordo de buques de gas licuado. Soluciones basadas en dos plantas redundantes, o un sistema de PTO que pueda funcionar como propulsor de emergencia, parecen haber solucionado el problema, así como la existencia y servicio satisfactorio de estas plantas en buques de crítica seguridad, como los petroleros shuttle.

El tipo de motor puede ser el clásico, funcionando con HFO, y dotando al buque de una planta de re licuado del BOG, o los modernos motores preparados para combustible dual, con el consecuente ahorro en emisiones y consumo.

Según se instalen uno solo o dos plantas gemelas, será necesaria una toma de potencia en el eje para la producción eléctrica y servir como propulsión de emergencia, o generadores independientes. En la primera de las soluciones, será también necesario un equipo de puerto, que podrá ser el de emergencia del buque en algunos casos.

3.2.2 Motor diesel 4T: propulsión diesel eléctrica

La reciente aparición de la serie Wärtsilä 50 DF de motores de cuatro tiempos preparados para combustible dual, con posibilidad de cambio automático de un combustible a otro, así como adaptado a distintas proporciones diesel / gas, y su posibilidad de funcionamiento con HFO, ha provocado la aparición de buques con este tipo de propulsión, ya probada en numerosos buques.

Existe un proyecto de Chantiers d'el Atlantique para la construcción de buques con este tipo de planta, que se entregarán en el 2004, con dos velocidades de servicio según se empleen tres o los cuatro motores instalados.

Todos los problemas anteriormente expuestos respecto seguridad y mantenimiento quedan subsanados, con el pequeño pero de una inversión inicial mayor.

3.2.3 Turbina de gas

Tres de los más importantes fabricantes de turbinas de gas, Alstom, Rolls Royce y GE, han puesto a punto turbinas de gas específicas para este tipo de buques. Éstas, están preparadas para quemar directamente el boil-off de los tanques, así como para funcionar con combustible dual, como ya se ha probado en numerosas plantas off-shore.

Sus ventajas son el considerable ahorro de peso y empacho frente a una planta de vapor convencional, con una ligera mejora en el rendimiento. Tanto GE como Alstom, han hecho sus estudios basándose en plantas de ciclo combinado, bien con turbinas aeroderivadas como específicamente navales.

También se han hecho estudios basados en una planta de ciclo combinado a la que se añade un motor diesel quemando HFO, que se emplea según las necesidades de potencia.

Su inconveniente principal es su altísimo coste, delicado mantenimiento, aunque con menos paradas que una de vapor (se habla de cinco días por año), así como un difícil encaje de la potencia de la turbina a las necesidades del buque, pues las series son pequeñas, al contrario que en el motor diesel, en el que basta jugar con el número de cilindros para conseguir encajar la potencia necesaria.

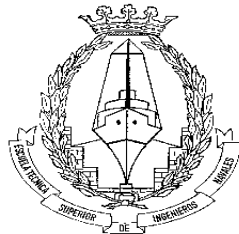
Como resumen, sirvan las siguientes opciones propulsivas que existen en el mercado actual:

PROPULSIÓN	GENERACIÓN ELECTRICA
Turbina marina a vapor caldera dual	turbogeneradores
Turbina de gas dual con ciclo combinado	generadores diesel
2T diesel gemelos (duales o no)	generadores diesel
2T diesel único	toma de fuerza en eje de cola
Motor eléctrico	generadores 4T duales

PROYECTO FIN DE CARRERA N° 1564

LNG MEMBRANA 51.000 m³

CUADERNO 1
DIMENSIONAMIENTO



ALUMNO: ENRIQUE DOPICO

TUTOR: Dn SEBASTIAN ABRIL PÉREZ

1. ESPECIFICACIONES DE PROYECTO.....	3
2. BASE DE DATOS DE BUQUES SIMILARES.....	4
3. ESTIMACIÓN DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES	5
3.1 RELACIÓN DE LBD CON EL VOLUMEN DE CARGA.....	5
3.2 RELACIÓN DE LBD CON EL PESO MUERTO	5
3.3 RELACIÓN DEL NÚMERO DE FROUDE CON EL PESO MUERTO	6
3.4 ESTIMACIÓN DE LA ESLORA	7
3.5 ESTIMACIÓN DE LA MANGA	8
3.6 ESTIMACIÓN DEL PUNTAL.....	9
3.7 ESTIMACIÓN DEL CALADO.....	10
3.8 OTRAS RELACIONES	11
3.9 CONCLUSIONES	13
3.10 COEFICIENTES ADIMENSIONALES.....	15
4. OPTIMIZACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS	17
5. ESTIMACIÓN DE POTENCIA	21
6. CALCULO PRELIMINAR DE LA ESTABILIDAD.	233
7. BIBLIOGRAFIA.....	244

1. ESPECIFICACIONES DE PROYECTO.

TIPO DE BUQUE:	LNG con tanques tipo membrana.
TRIPULACIÓN:	30 personas.
PESO MUERTO:	32000 Toneladas.
VELOCIDAD EN PRUEBAS:	17,5 nudos al 90% de la M.C.R, 21 % de margen de mar.
PROPULSIÓN:	Turbina marina a vapor. Hélice de palas fijas
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO:	4 bodegas con tanques de tipo membrana de capacidad total de 51000 m ³ (100 % y -163°C). Combustible 3000 m ³ . D.O 250 m ³ . Agua dulce 200 m ³ . Agua destilada 200 m ³ . Aceite 200 m ³ .
EQUIPO DE MANIPULACIÓN DE CARGA:	8 bombas de descarga de 700 m ³ /h a 150 mcl, 4 bombas de achique de 25 m ³ /h a 150 mcl
CLASIFICACIÓN Y COTA:	Bureau Veritas.+I3/3, Liquefied Gas Carrier, deep sea, AUT, AUTPORT.
REGLAMENTOS Y LIMITACIONES:	V.B, SOLAS código gas.
OTROS REQUERIMIENTOS:	Gas inerte. Generador de nitrógeno. Detección de gases en espacios vacíos y lastres.

2. BASE DE DATOS DE BUQUES SIMILARES

Para la elaboración de la base de datos se buscaron buques LNG que tuvieran un peso muerto y un volumen de carga cercanos a los requeridos en las especificaciones de proyecto, es decir alrededor de 32000 toneladas y 51000 m³, y que fueran construcciones recientes. El mayor problema que se ha encontrado es que casi todos los buques de este tipo se construyen con capacidades de carga mucho mayores que las exigidas, con lo cual el número de buques de referencia es muy limitado.

Se han escogido buques menores de 100000 m³ de carga. De esta forma nos movemos en unos márgenes más estrechos siendo más útil para nuestros propósitos de obtener una base de datos fiable.

La base de datos trata de ser lo más completa posible, de modo que además de tener los datos referidos a las dimensiones principales, se han buscado otra serie de datos que ayuden a definir el buque, como son la potencia, velocidad, números de tanques y sistema de carga.

Buque	Fecha Entrega	Lt (m)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	Td (m)	Te (m)	TPM (Tons)	Cbd
AMAN BINTULU / AMAN SENDAI	1997	130,00	125,00	25,70	13,10	7,12	7,12	10.957	
AMAN HAKATA	1998	130,00	124,00	25,70	13,10	7,11	7,11	10.951	
LNG LERICI	1998	215,00	205,00	33,90	21,26	9,15	9,15	35.760	
LNG PORTOVENERE	1996	216,20	204,98	33,91	21,26	9,48	9,48	35.760	0,73
POLAR EAGLE	1993	239,00	226,00	40,00	26,80	11,03	11,03	48.817	
SURYA AKI	1996	151,00	140,00	28,00	16,00	7,60	7,60	11.612	0,65
SURYA SATSUMA	2000	151,03	143,50	28,00	16,00	7,06	7,06	12.493	0,73

Buque	GT	Despl. (Tons)	Vol Carga (m ³)	Pros. (Tons)	Vel. (nudos)	Fn	Pot. (Kw)	N° Tanques	Sistema de carga
AMAN BINTULU / AMAN SENDAI	16.336		18.928		15,00	0,220	7.500	3	TZ Mk III
AMAN HAKATA	16.336		18.800		15,50	0,228	7.500	3	TZ Mk III
LNG LERICI	46.555		65.000		16,50	0,189	12.500	4	GT NO 96
LNG PORTOVENERE	46.555	49.232	65.000	13.472	16,50	0,189	12.500	4	GT NO 96
POLAR EAGLE	66.174		89.880		18,50	0,202	21.000	4	IHI SPB
SURYA AKI	20.524	19.780	19.538	8.168	18,50	0,256	12.000	3	Moss
SURYA SATSUMA	20.017	21.298	23.096	8.805	16,50	0,226	10.600	3	TZ Mk III

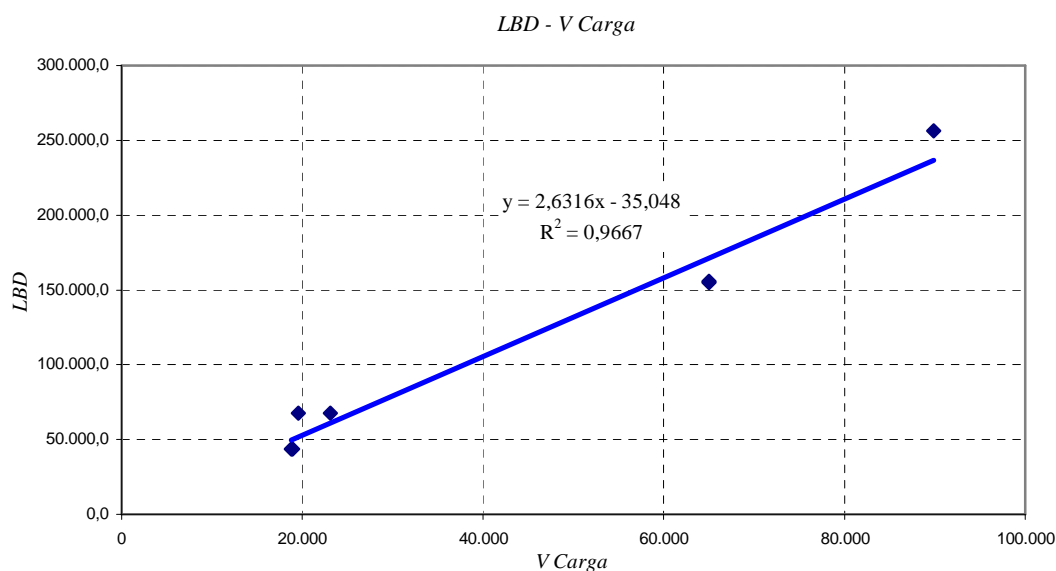
3. ESTIMACIÓN DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES

A partir de la base de datos se pueden obtener unas magnitudes adimensionales que nos serán muy útiles para acotar ciertas características que nuestro barco debe de cumplir o por lo menos nos serán orientativas en esta primera etapa de proyecto.

En todas las regresiones se busca no solo la correlación lineal, sino aquella que de un índice de error menor

3.1 RELACIÓN DE LBD CON EL VOLUMEN DE CARGA

La primera regresión que se obtiene es la correspondiente a la relación entre el producto de la eslora entre perpendiculares, la manga y el puntal (LBD o Número Cúbico) y el Volumen de Carga (Vol).



La relación lineal obtenida:

$$LBD = 2,6316 V_{\text{Carga}} - 35,048$$

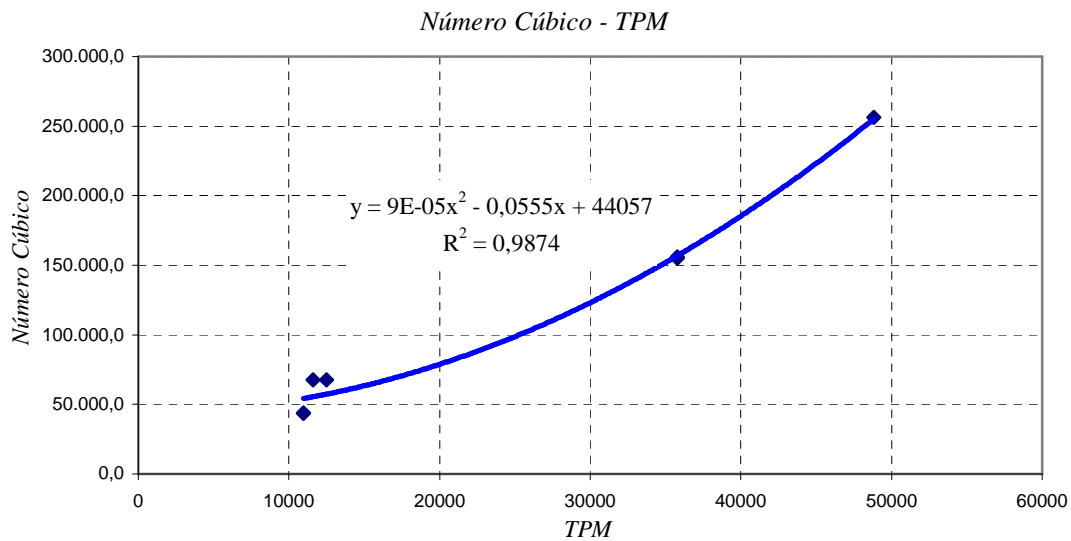
Sustituyendo para 51000 m³ se obtiene:

$$LBD = 134176,5 \text{ m}^3$$

3.2 RELACIÓN DE LBD CON EL PESO MUERTO

Las especificaciones de proyecto fijan también el peso muerto, buscaremos una relación entre el producto de la eslora entre perpendiculares, la manga y el puntal (LBD ó Número

Cúbico) y el Peso muerto (TPM).



La relación obtenida es la siguiente:

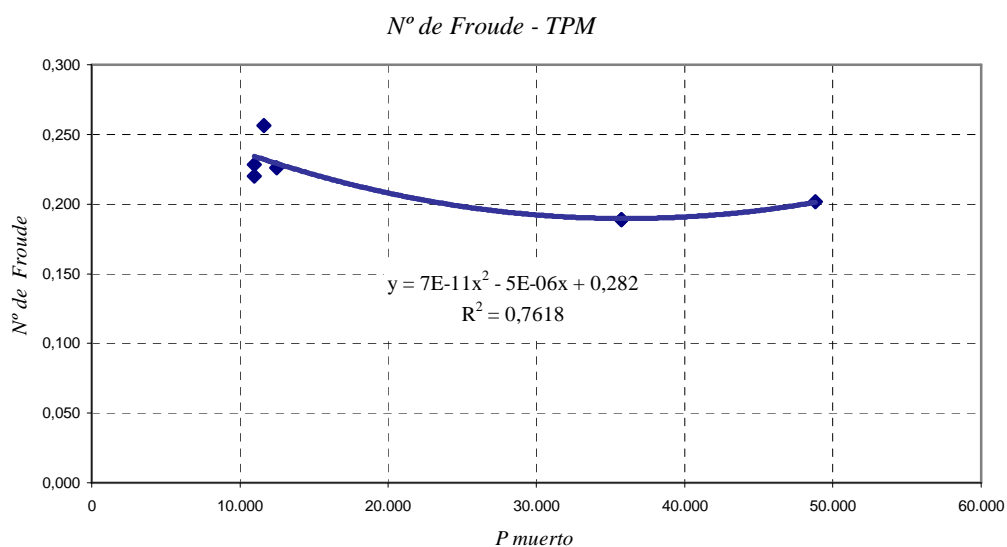
$$LBD = 9 \cdot 10^{-5} TPM^2 - 0,0555 TPM + 44057$$

Sustituyendo para 32000 tpm se obtiene:

$$LBD = 134441 \text{ m}^3$$

3.3 RELACIÓN DEL NÚMERO DE FROUDE CON EL PESO MUERTO

Se obtiene una relación entre la velocidad, la eslora y el peso muerto, a través del número de Froude:



La relación obtenida es la siguiente:

$$Fn = 7 \cdot 10^{-11} TPM^2 - 5 \cdot 10^{-6} TPM + 0,282$$

Sustituyendo para 32000 tpm se obtiene:

$$Fn = 0,194$$

3.4 ESTIMACIÓN DE LA ESLORA

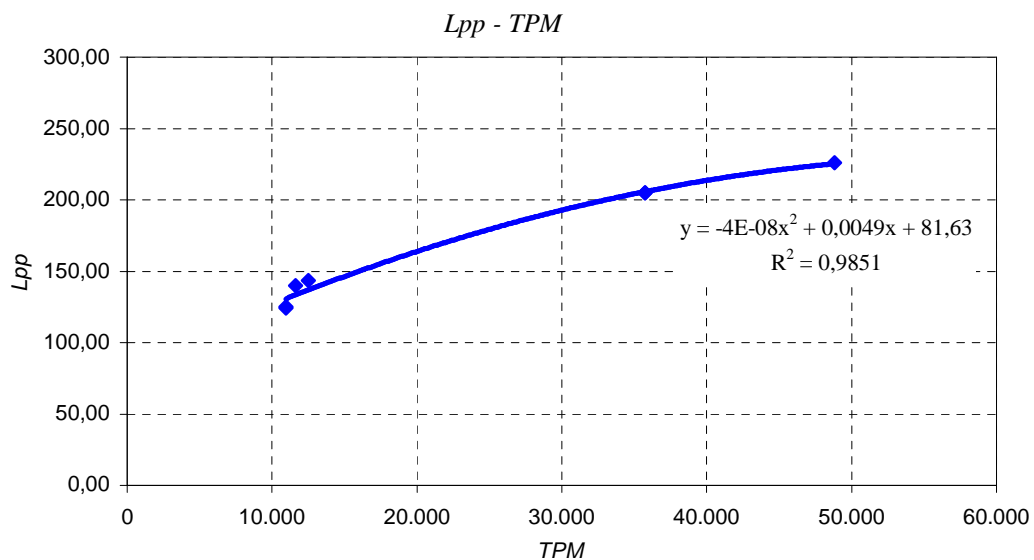
En el apartado anterior se estimó el número de Froude (Fn). Sustituyendo este parámetro se obtiene una estimación de la eslora entre perpendiculares, a partir de la definición de dicho número:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{L_{pp} \cdot g}} \Rightarrow L_{pp} = \left(\frac{V}{Fn} \right)^2 \cdot \frac{1}{g}$$

Sustituyendo la velocidad de 17,5 nudos, se obtiene la siguiente eslora entre perpendiculares:

$$L_{pp} = 219,52 \text{ m}$$

Otra forma de hallar la eslora entre perpendiculares es posible a partir de la siguiente relación de esta con el peso muerto.

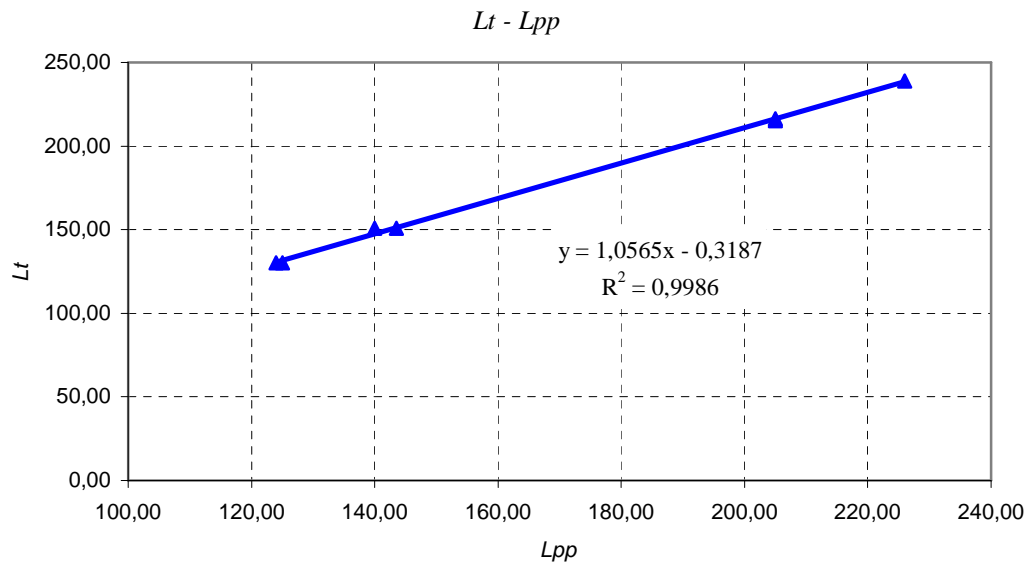


Sustituyendo en este caso el peso muerto (32000 t) se obtiene:

$$L_{pp} = -4 \cdot 10^{-8} TPM^2 + 0,0049 TPM + 81,63$$

$$L_{pp} = 197,47 \text{ m}$$

Una vez obtenida la eslora entre perpendiculares, que se hará variar entre esos parámetros, se puede estimar la eslora total a través de la siguiente relación:



Sustituyendo los dos valores hallados anteriormente se obtiene:

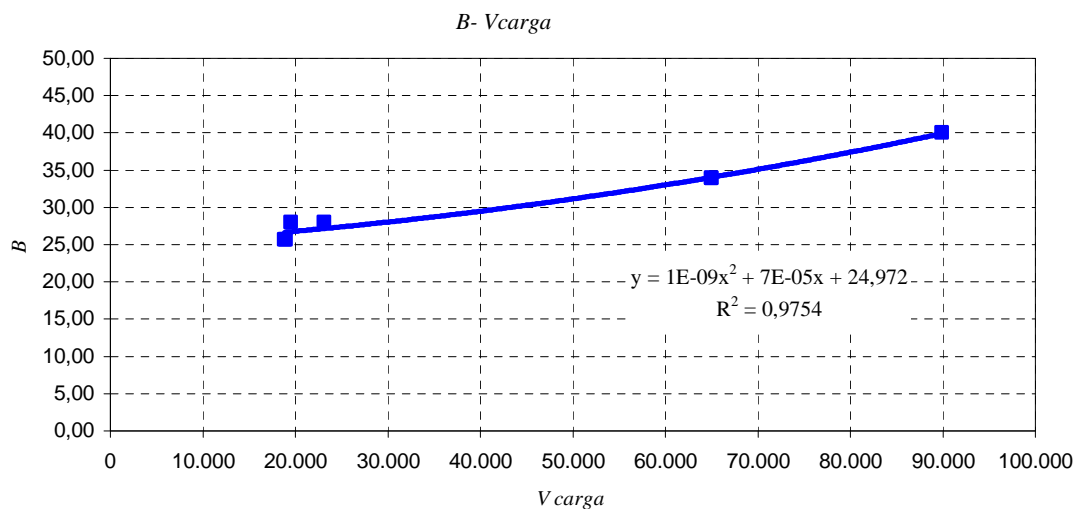
$$Lt = 1,0565 Lpp - 0,3187$$

$$Lpp = 219,52 \Rightarrow Lt = 231,60$$

$$Lpp = 197,47 \Rightarrow Lt = 208,30$$

3.5 ESTIMACIÓN DE LA MANGA

Una vez obtenidos la eslora total y el puntal se puede hallar la manga, para ello se recurrirá en primer lugar a su relación con el Volumen de carga:

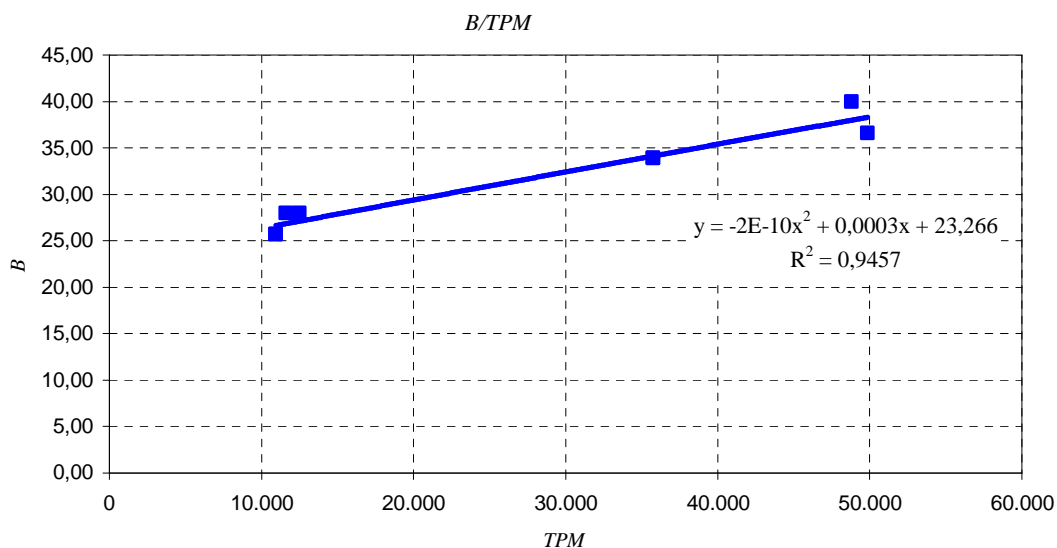


Sustituyendo en este caso el volumen de carga (51000 m³) se obtiene:

$$B = 1 \cdot 10^{-9} V_{\text{Carga}}^2 + 7 \cdot 10^{-5} V_{\text{Carga}} + 24,972$$

$$B = 31,14 \text{ m}$$

Si relacionamos la Manga con el Peso muerto se obtendrá la siguiente relación:



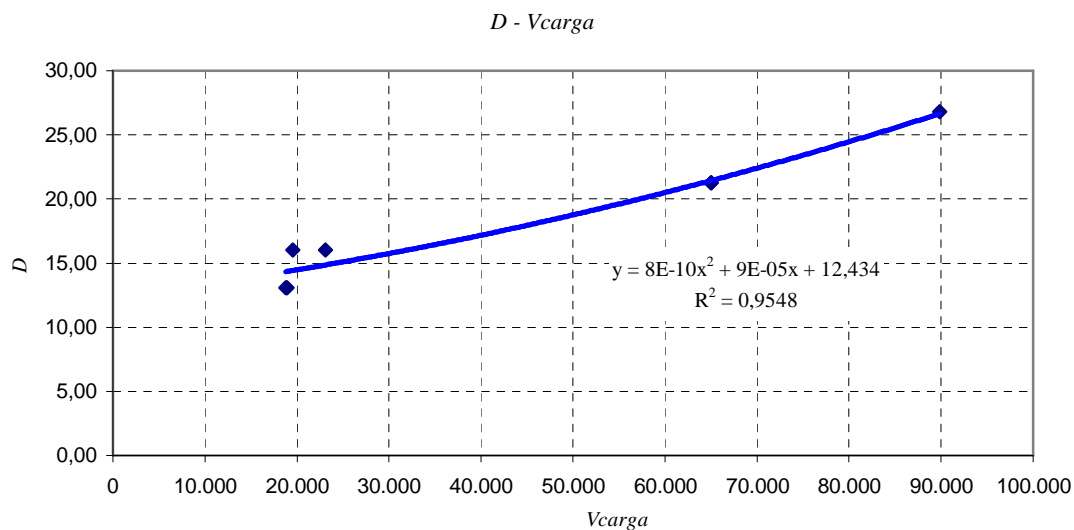
En este caso, la manga será al sustituir el peso muerto:

$$B = -2 \cdot 10^{-10} TPM^2 + 0,0003 TPM + 23,266$$

$$B = 32,66 \text{ m}$$

3.6 ESTIMACIÓN DEL PUNTAL

Se obtiene la siguiente relación entre el puntal y el volumen de carga-



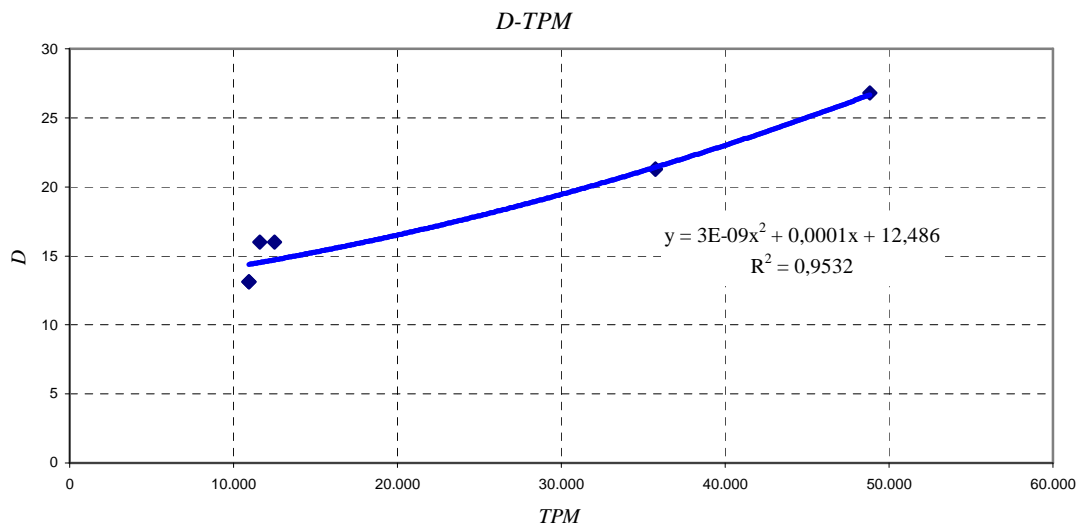
Se obtiene en este caso la siguiente relación:

$$D = 8 \cdot 10^{-10} V_{\text{Carga}}^2 - 9 \cdot 10^{-5} V_{\text{Carga}} + 12,434$$

Sustituyendo para 51000 m³ se obtiene:

$$D = 19,10 \text{ m}$$

Se ha tanteado la relación del puntal con el Peso Muerto por ser condición fijada por las especificaciones de proyecto.

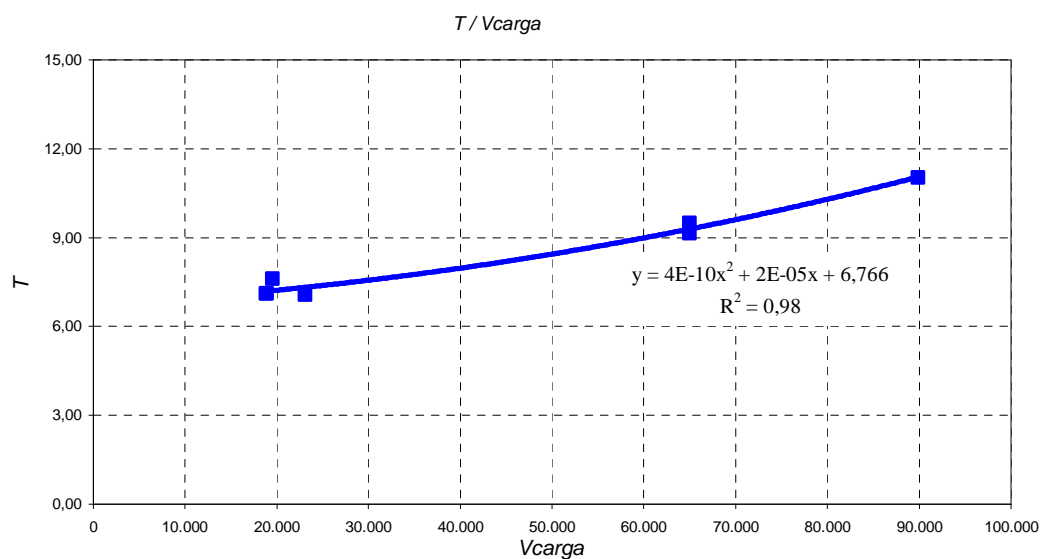


Donde se obtiene al sustituir en este caso se obtiene:

$$D = 18,76 \text{ m}$$

3.7 ESTIMACIÓN DEL CALADO

Se obtiene la siguiente relación entre el calado y el volumen de carga-



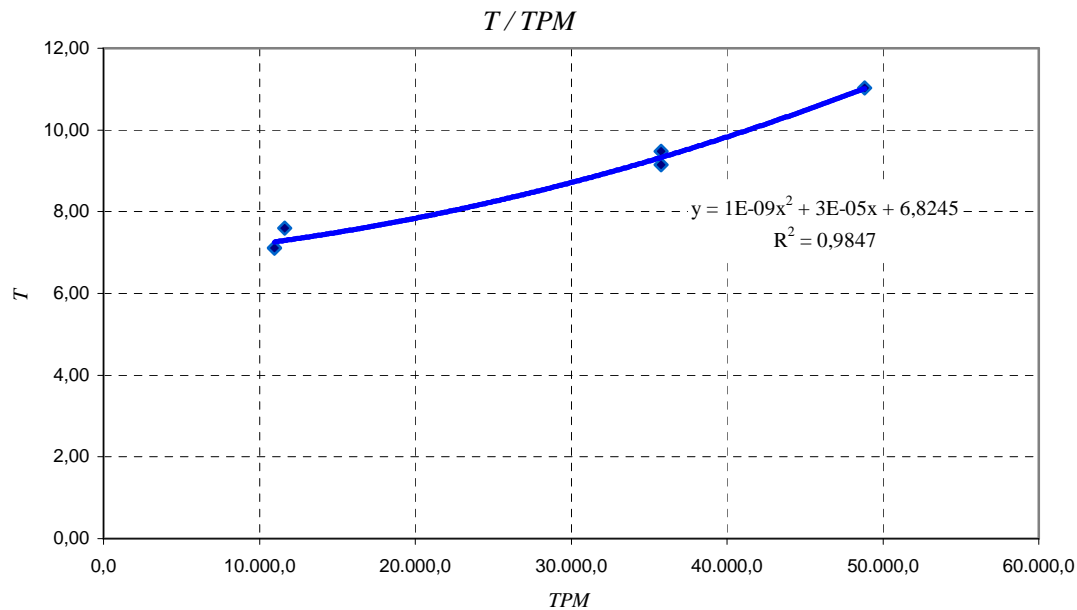
Se obtiene en este caso la siguiente relación:

$$T = 4 \cdot 10^{-10} V_{\text{Carga}}^2 + 2 \cdot 10^{-5} V_{\text{Carga}} + 6,766$$

Sustituyendo para 51000 m³ se obtiene:

$$T = 8,83 \text{ m}$$

Se ha tanteado la relación del calado con el Peso Muerto por ser condición fijada por las especificaciones de proyecto.



Se obtiene al sustituir en este caso se obtiene:

$$T = 8,81 \text{ m}$$

3.8 OTRAS RELACIONES

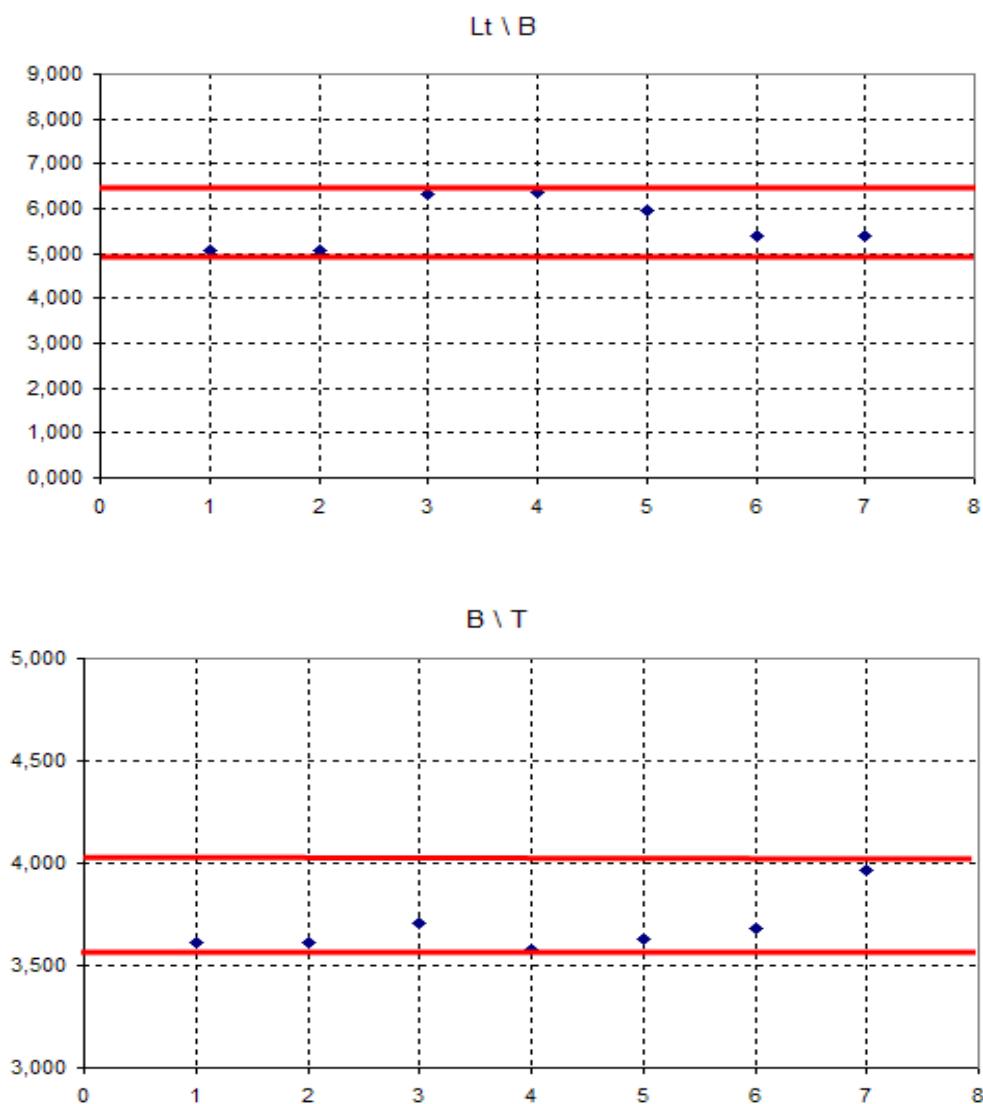
Hasta ahora se han hecho estimaciones para calcular la eslora, manga y el puntal, obteniendo los siguientes resultados:

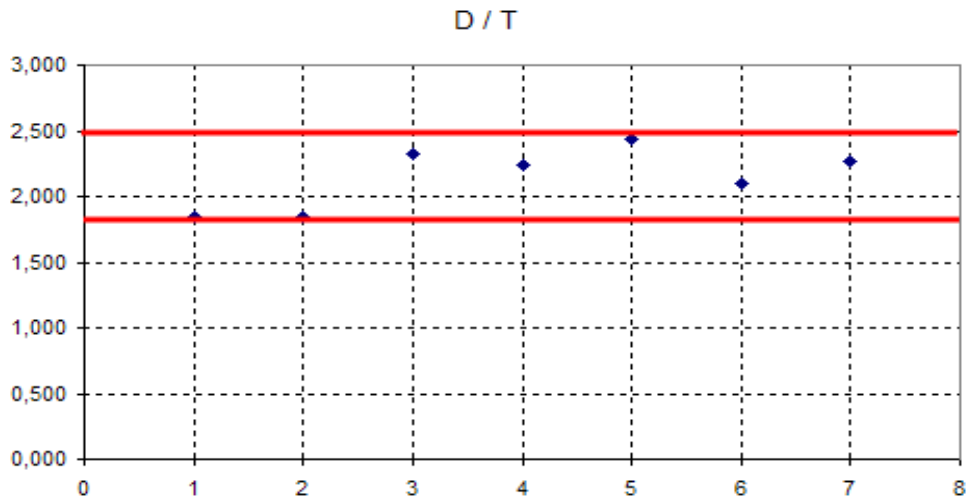
	TPM	Vcarga
Lt	231,60	208,30
Lpp	219,52	197,47
B	32,66	31,14
D	18,76	19,10
T	8,81	8,83
LBD	134441,00	134176,00
Fn	0,194	
LBD (calculada)	141901,69	123891,42

Se observa que el LBD de las gráficas no coincide con el calculado, por tanto se variarán los distintos parámetros de forma que los valores sean parecidos.

Por otra parte, también se estudiarán las relaciones de varios cocientes para acotar el tamaño del buque y estudiar en que dimensiones se mueven este tipo de buques.

Las relaciones que se estudiarán son Lt/B , B/T y D/T . No se buscarán regresiones, sino valores máximos y mínimos como se observa a continuación, de forma que se pueda relacionar el calado con las restantes dimensiones:





A la vista de estas gráficas, se pueden acotar los valores de los principales parámetros, mediante sus relaciones como se muestra a continuación:

$$5,00 < L_t / B < 6,50$$

$$3,50 < B / T < 4,00$$

$$1,75 < D / T < 2,50$$

3.9 CONCLUSIONES

De todos los parámetros analizados, los más semejantes son el calado y el número cúbico que son prácticamente similares. Así, se fijarán dichos parámetros con unos valores intermedios admitiendo que los valores están dentro del error admitido en las regresiones. Por tanto:

$$T = 8,82 \text{ m}$$

$$LBD = 134308,5 \text{ m}^3$$

Con estos valores se hará un primer encaje del modelo. En primer lugar se acotarán la manga y el puntal ya que se dispone del dato del calado (partiendo de las relaciones del apartado anterior) obteniendo:

$$B \in [31,00 ; 35,00] \text{ m}$$

$$D \in [16,00 ; 22,00] \text{ m}$$

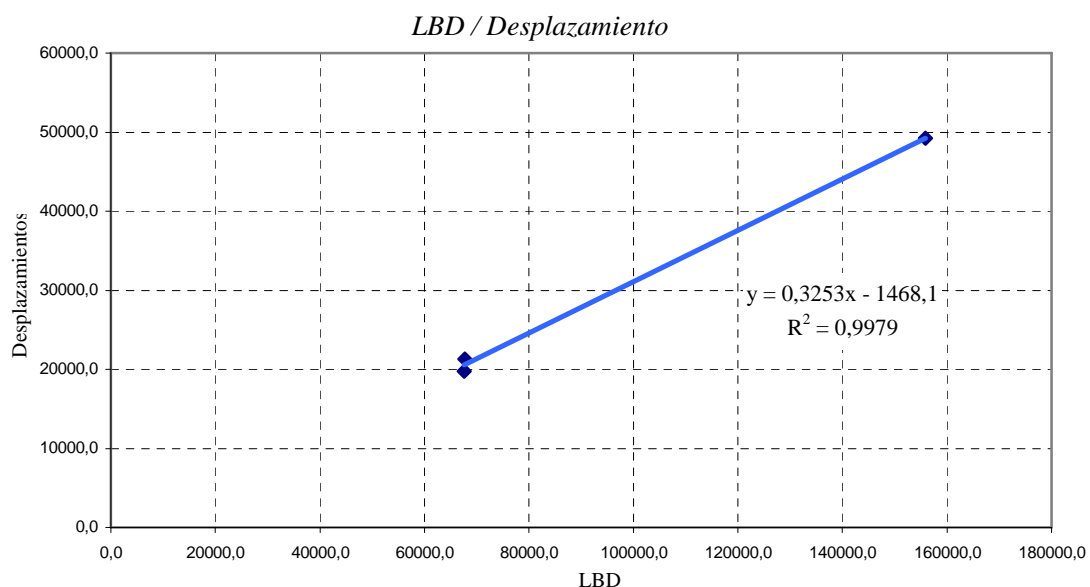
Despejando L de la expresión del número cúbico (LBD) e introduciendo como variables los extremos de los valores admisibles de la manga y el puntal se obtienen los siguientes resultados:

	Manga (m)	Puntal (m)	Eslora (m)	Lt / B	Estado
$L = \frac{134308,5}{BD}$	35,00	22,00	174,43	4,98	No admisible
	35,00	16,00	239,84	6,85	No admisible
	31,00	22,00	196,93	6,35	Admisible
	31,00	16,00	270,78	8,73	No admisible

Por tanto, ya tenemos unas dimensiones de partida, que se tendrán que afinar.

	Valores
Lt	197,00 m
Lpp	186,70 m
B	31,00 m
D	22,00 m
T	8,81 m
LBD	134308,5 m ³
Fn	0,210

Con estos datos se puede hacer una estimación del desplazamiento entrando en la gráfica LBD – Desplazamiento, que servirá para hacerse una idea de los valores por los que nos moveremos:



Sustituyendo se obtiene un desplazamiento de 42200 toneladas.

Con este dato se pueden hallar otros parámetros adimensionales, que se detallan en el siguiente apartado.

3.10 COEFICIENTES ADIMENSIONALES

Se analizarán una serie de coeficientes adimensionales que nos darán una idea de cómo será el buque y si vamos por buen camino con las regresiones.

a) *Coeficiente de Bloque*

Se calculará este coeficiente que relaciona el desplazamiento con la eslora, manga y calado:

$$CB = \frac{\nabla}{LBT} = 0,81$$

Valor demasiado alto para este tipo de buques con lo que habrá que retocar las dimensiones. Sería ideal un Coeficiente de bloque en torno a 0,70, por lo visto en otras construcciones, aunque para la velocidad que tiene quizás sería aconsejable bajarlo por debajo de 0,70 como ocurre en el *Surya Aki*.

b) *Coeficiente de la Maestra*

Para determinar el Coeficiente de la Maestra (CM) se utiliza la fórmula de Kerlen:

$$CM = 1,006 - 0,0056 CB^{-3,56} = 0,994$$

Su valor debería oscilar entre 0,75 y 0,98. En este caso tenemos un valor alto debido a un valor alto del Coeficiente de bloque.

c) *Coeficiente Prismático*

Este parámetro da una idea de resistencia al avance. Se obtiene como el cociente entre el Coeficiente de bloque y el Coeficiente de la maestra:

$$CP = \frac{CB}{CM} = 0,811$$

Como era de esperar el valor es un poco alto (se recomienda que no pase de 0,80) debido a que los coeficientes de los que depende también son altos.

d) *Coeficiente de la Flotación*

El Coeficiente de Flotación (CF) se obtiene con la fórmula de Schneekluth (formas en U).

$$CF = \frac{(1+2CB)}{3} = 0,871$$

4. OPTIMIZACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS

Como se observó en el apartado anterior, los valores de los coeficientes adimensionales salían algo altos para este tipo de buques. Por tanto se tendrán que retocar los valores estimados fijándonos en los de los buques construidos, que se detallan en el segundo apartado en la base de datos, y en los valores de las regresiones.

	Valores 1ª estimación
Lt	197,00 m
Lpp	186,70 m
B	31,00 m
D	22,00 m
T	8,81 m
LBD	134.308,5 m ³
Desplazamiento	42.200 t
Fn	0,210
CB	0,81
CM	0,994
CP	0,881
CF	0,871

Se mantendrá fijo el desplazamiento, ya que este podrá variar cuando se tengan las medidas definitivas al calcular las hidrostáticas.

Fijaremos la eslora total en 216,20 m, como en el caso del *LNG Portovenere*. Introduciendo este valor en la tabla que relaciona esta magnitud con la eslora entre perpendiculares se obtiene $L_{pp} = 204,95$ m.

La manga como parámetro inicial la tomaremos en 32 m, valor intermedio aproximado obtenido de las regresiones, al igual que para el puntal cuyo valor inicial será de 19 m.

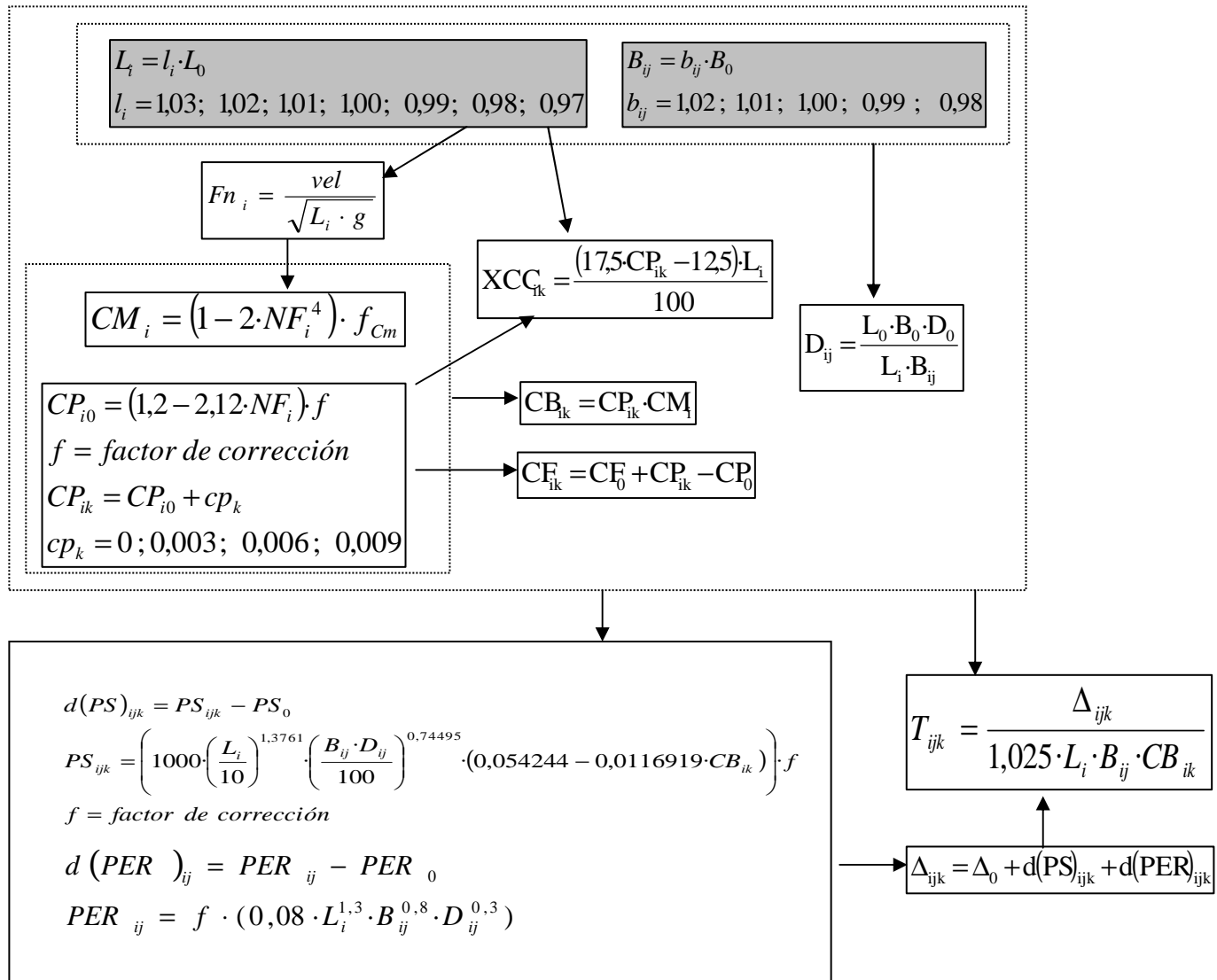
Con estos valores tendremos que aumentar el calado del buque, se subirá un metro aproximadamente dejándolo en 9,5 m.

Con estos cambios se obtiene la siguiente configuración (2ª estimación):

	Valores 1ª estimación	Valores 2ª estimación
Lt	197	216,2
Lpp	186,7	204,95
B	31	33
D	22	19
T	8,81	9,5
LBD	134.308,50	135.557,40
Desplazamiento	42.200	42.200
Fn	0,210	0,201
CB	0,81	0,64
CM	0,994	0,978
CP	0,811	0,654
CF	0,871	0,760
v	17,5	17,5
v (m/s)	9,00	9,00
Lt/B	6,35	6,55
B/T	3,52	3,47
D/T	2,50	2,00

Se observa comparando con la primera estimación unos valores que aunque situados en la frontera de Lt / B, B / T, D / T, dan unos parámetros adimensionales más acordes con el tipo de buque en el se está trabajando.

Finalmente, para intentar ajustar más el modelo, se realizará un proceso iterativo para optimizar los valores iniciales de las características principales del buque que se proyecta. En la página siguiente se muestra un diagrama explicativo de este proceso...



El programa utilizado es el que usa la empresa Navantia para sus estimaciones. Lo que se hace es aplicar una serie de parámetros como son la eslora, la manga, el puntal y los diferentes coeficientes adimensionales y darles unos incrementos tanto positivos como negativos de forma que cuadren los parámetros. Así se observa que la eslora y la manga crecen y decrecen cm a cm mientras que por ejemplo el coeficiente prismático varía de 0,003 en 0,003. Se iterará hasta que los valores converjan.

Los últimos valores que se conseguirán son los del peso en rosca y el desplazamiento que será el que finalmente nos de el calado que será la última variable que se definirá.

El proceso es una caja negra en el que el usuario lo único que introduce son los parámetros iniciales y el programa da la solución final. Añadir que el proceso se ha ido afinando a través de diferentes construcciones y con la amplias bases de datos de los que disponen los astilleros.

Recaltar que el programa utiliza diferentes expresiones que permiten comparar los resultados con los de un buque de características similares a las del que estamos estimando, con lo cual permite corregir los resultados finales.

Finalmente como método de corrección se puede comparar con un buque de similares características (dimensiones) utilizando el siguiente factor de escala, con lo que se puede aproximar más el resultado:

$$\lambda = \left(\frac{L_i}{L_b} \right)^{1,836} \left(\frac{B_i}{B_b} \right)^{1,816} \left(\frac{D_i}{D_b} \right)^{0,204}$$

Donde los subíndices *i* se refieren a los datos que nosotros estimamos y los subíndices *b* a los del buque conocido. Tras realizar la iteración se obtienen los resultados de la tercera columna de la tabla. Las otras dos muestran a modo comparativo los valores obtenidos en las estimaciones realizadas anteriormente.

	Valores 1ª estimación	Valores 2ª estimación	Valores finales
Lt	197	216,2	216,2
Lpp	186,7	204,95	206
B	31	33	32
D	22	19	19
T	8,81	9,5	9,5
LBD	134.308,50	135.557,40	131.449,60
Desplazamiento	42.200	42.200	42.201
Fn	0,210	0,201	0,212
CB	0,81	0,64	0,66
CM	0,994	0,978	0,981
CP	0,811	0,654	0,669
CF	0,871	0,760	0,771
v	17,5	17,5	18,5
v (m/s)	9,00	9,00	9,52
Lt/B	6,35	6,55	6,76
B/T	3,52	3,47	3,37
D/T	2,50	2,00	2,00

5. ESTIMACIÓN DE POTENCIA

Para realizar una estimación de la potencia utilizaremos el método de Holtrop y Mennen. La aplicación de este método, requiere el conocimiento de una serie de parámetros que de momento algunos son desconocidos, por lo que dejaremos que el propio programa de valores por defecto de estos parámetros.

Para los 17,5 nudos el valor EHP es de 10712 CV

$$EHP = 10712 \text{ CV}$$

Utilizando un rendimiento propulsivo del 67% calculamos el valor de la potencia necesaria en pruebas (potencia al freno):

$$BHP_p = \frac{EHP}{\eta_p} = \frac{10712}{0,67}$$

$$BHP_p = 15988 \text{ CV}$$

Pero para tener calcular la condición de servicio, tendremos que tener en cuenta un margen de mar de un 21%, con lo que la curva de la potencia en condiciones de servicio requerida será:

$$BHP_s = 1.21 \cdot BHP_p$$

$$BHP_s = 19345 \text{ CV}$$

En cuanto al motor, según las especificaciones de proyecto, deberá conferir al buque la velocidad de pruebas de 17,5 nudos a un régimen del 90% de su potencia nominal, con lo que podremos calcular ésta:

$$MCR = \frac{BHPp}{0.90}$$

$$MCR = 21494 \text{ CV}$$

De esta manera, podremos calcular la velocidad de servicio de nuestro barco como aquella en la que los BHPs generados por el motor sean iguales a los requeridos por el conjunto carena-hélice.

6. CALCULO PRELIMINAR DE LA ESTABILIDAD.

Una vez finalizado el proceso de optimización se realiza una comprobación de la estabilidad inicial.

La altura metacéntrica se calcula con la siguiente expresión:

$$GM = KB + BM - KG$$

GM: Altura metacéntrica (estabilidad inicial)

KB: Altura del centro de carena.

BM: Radio metacéntrico.

KG: Altura del centro de gravedad.

Se calcula la altura del centro de carena mediante la fórmula de Euler

$$KB = \frac{T}{1 + \frac{CB}{CF}}$$

$$KB = 5.10 \text{ m}$$

El Radio Metacéntrico se obtiene mediante la fórmula de Normand

$$BM = \frac{L_{pp} \cdot B^3 \cdot (0.894 \cdot CF^2 + 0.096)}{12 \cdot \nabla}$$

$$BM = 10.3 \text{ m}$$

Finalmente la altura del centro de gravedad se obtiene con

$$KG = \frac{0.9 \cdot PR \cdot D + 0.65 \cdot D \cdot PM}{\Delta}$$

$$KG = 12.47$$

$$GM = 2.93 \text{ m}$$

Este valor es superior al valor inferior límite que como regla general tiene un valor de 0.15m.

7. BIBLIOGRAFIA

JOSE ANTONIO ALAEZ DE ZAZURCA, *Teoría del buque, Tomo I*. ETSIN.

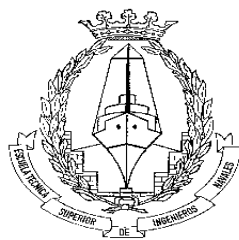
MEIZOSO, ALVARIÑO Y AZPIROZ, *El proyecto Básico del Buque Mercante*

PROYECTO FIN DE CARRERA N° 1564

LNG MEMBRANA 51.000 m³

CUADERNO 2

FORMAS



ALUMNO: ENRIQUE DOPICO

TUTOR: Dn. SEBASTIÁN ABRIL PÉREZ

1. INTRODUCCIÓN	3
2. FORMAS ADOPTADAS. ANÁLISIS INICIAL	5
3. ANÁLISIS DE FORMAS OBTENIDAS	6
3.1 <i>BULBO</i>	6
3.2 <i>CUADERNAS</i>	9
3.3 <i>FORMAS DE POPA</i>	9
3.4 <i>CURVA DE ÁREAS NORMALIZADAS. ANÁLISIS</i>	11

1. INTRODUCCIÓN

Este cuadernillo es de vital importancia en el desarrollo del proyecto, debido a que en él se van a definir las formas de la alternativa seleccionada en el Cuaderno 1. La elección de formas es un aspecto muy importante debido a dos cuestiones fundamentales como la resistencia al avance y la estiba de la carga.

En cuanto a la resistencia al avance, se debe mencionar que unas formas mal diseñadas conllevan a la necesidad de una planta propulsora que ofrezca mayor potencia a igualdad de condiciones que un buque con unas formas mejor diseñadas, lo que equivale a un mayor coste del equipo propulsor y un mayor coste en la explotación del buque, debido a un mayor consumo de combustible.

Un segundo aspecto a destacar en relación con lo anterior es el aspecto de la estiba de la carga. No hay que olvidar que el objetivo principal de un buque de este estilo es el transporte carga, y este no debe realizarse de cualquier forma, sino que debe ser de una forma óptima; la anterior afirmación resume el sentido de los cálculos del primer cuaderno de predimensionamiento, no interesa un barco en el que quepa la carga sin más, sino que interesa el menor barco en el que podamos estibar la carga exigida, dando una velocidad determinada, y no dejando a un lado la estabilidad y francobordo desde el punto de vista de la seguridad.

Los procedimientos más usuales en la definición de formas son fundamentalmente tres:

- Series sistemáticas: A partir de una serie sistemática podemos obtener las formas del buque deseado.
- Modificación de unas formas pertenecientes a otro buque para adaptarlas a las necesidades del proyecto, a través de una transformación afín.
- Generación de formas: A través de herramientas matemáticas para la definición del casco en relación con unos modelos de alambre o superficie.

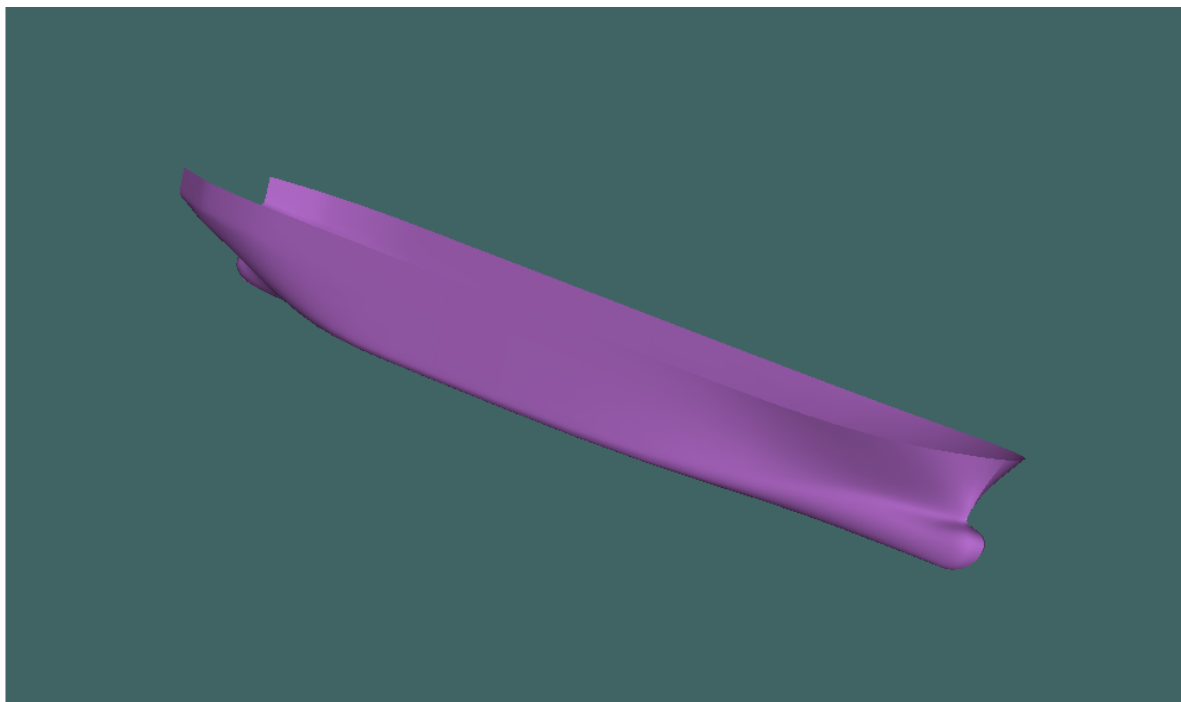
En este caso se va a optar por la segunda opción, debido a que se poseen las formas de un buque similar al de proyecto. Estas formas corresponden a uno de los casos propuestos como ejemplo en el programa *Maxsurf*, software utilizado para la realización del proyecto.

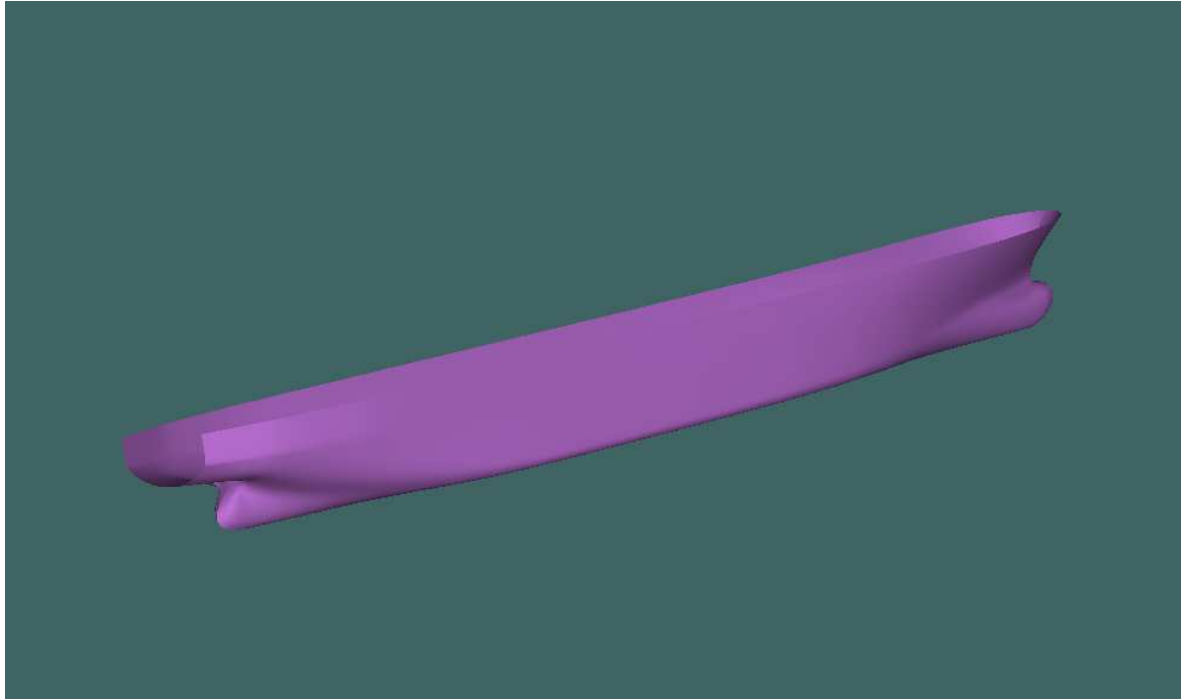
Partiendo de las formas del buque base, se realizan una serie de transformaciones para obtener nuestras formas definitivas.

1. Se ajusto el coeficiente de bloque CB pasando a un valor de 0,70
2. Transformación de la curva de áreas transversales para lograr la posición longitudinal del centro de carena del buque próxima a la que estimamos en el cuaderno 1. No se debe superar un margen del 2% Xcc.
3. Se realizará un transformación paramétrica dejando fijadas la eslora entre perpendiculares, la manga y el calado, dejando como variable el desplazamiento y observando que el valor de este sea cercano al estimado.
4. Una vez transformadas las curvas de áreas y flotación, procedemos a hacer una transformación afín de las formas iniciales, de manera que los coeficientes de forma no varíen, para obtener las dimensiones principales del buque deseadas.

En la generación de las formas tendremos que tener en cuenta las dimensiones de la cámara de máquinas para albergar el motor principal; así como sus auxiliares, y del codaste para poder albergar la hélice.

Hechas estas consideraciones se obtienen unas formas como las que se muestran a continuación:





2. FORMAS ADOPTADAS. ANÁLISIS INICIAL

Antes de continuar con el desarrollo de las formas definitivas del buque, se debe realizar un análisis de estas formas, corroborando su validez. Como se ha comentado antes, se ha partido de las formas proporcionadas por el propio programa con lo cual se presuponen válidas.

A continuación se trato el archivo obtenido con *Maxsurf*. Un detalle a tener en cuenta en todo el proceso fue el trabajar con escalas y unidades de medida conformes en los distintos programas. Se trabajo escala 1:1 y como unidades metros y toneladas. Inicialmente en el *Maxsurf* se procedió a seleccionar la línea base y el origen de referencia. Estas formas iniciales son las que representan al buque base, para obtener las formas del buque proyecto se realizó una transformación paramétrica.

El proceso para la transformación paramétrica partió de los valores de coeficiente de bloque, coeficiente prismático, desplazamiento, eslora entre perpendiculares, manga y calado del buque base. Al ser el buque propuesto por el programa menor que el buque proyecto se han tenido que aumentar los valores de la eslora entre perpendiculares, manga y calado dejando como variable el desplazamiento y de forma progresiva de manera que la transformación sea suave y convergente.

Paralelamente se han ido ajustando los coeficientes prismáticos y de bloque de forma que se ajusten a los obtenidos en el primer cuaderno, dentro de unos márgenes aceptables de error. Este hecho nos confirma la validez de los resultados obtenidos en dicho cuaderno. Con las formas ajustadas realizamos los cálculos hidrostáticos con ayuda de Maxsurf, obteniendo los resultados siguientes:

	Valores Cuaderno 1	Valores Maxsurf
Lt	216,2	216,272
Lpp	206	206
B	32	32
D	19	19
T	9,5	9,4
LBD	131.449,6	131.493,37
Desplazamiento	42201	45.676
Fn	0,212	0,200
CB	0,66	0,71
CM	0,981	0,99
CP	0,669	0,72
CF	0,771	0,818
v	17,5	17,5
v (m/s)	9,003	9,003
Lt/B	6,76	6,76
B/T	3,37	3,40
D/T	2,00	2,02

3. ANÁLISIS DE FORMAS OBTENIDAS

El análisis que se va a realizar va a consistir en un estudio de:

- 1.- Bulbo
- 2.- Cuadernas
- 3.- Formas de popa
- 4.- Curva de áreas normalizada. Análisis

3.1 BULBO

El bulbo es un elemento que contribuye de forma importante a la reducción de la resistencia al avance. La existencia o no de bulbo viene recomendada en el libro “Proyecto Básico del Buque Mercante”. En dicho libro se establecen unos márgenes entre los cuales el hecho de encontrarse los valores de nuestro buque proyecto implica la adecuación de la existencia de bulbo. Además, en los apuntes “Lecciones de Resistencia al Avance” del

profesor D. Antonio Baquero, se establece otro criterio de aceptación del bulbo en función del número de Froude. En definitiva, los márgenes a cumplir son:

$$0,65 < CB < 0,815 \text{ en este caso } 0,71$$

$$5,5 < L/B < 7,0 \text{ en este caso } 6,76$$

$$CB \cdot B/L < 0,135 \text{ en este caso } 0,110$$

$$0,16 < Fn < 0,57 \text{ en este caso } 0,200$$

El bulbo dispuesto es de tipo peonza, por su altura es considerado como un bulbo alto ya que la manga máxima del mismo está por encima de la mitad del calado.

Este tipo de bulbo funciona muy bien en buques con dos situaciones de navegación claramente diferenciadas –como es nuestro caso – plena carga y lastre. Desde el punto de vista hidrodinámico cuando el buque navega a plena carga, el bulbo hace el efecto de minimizar la ola rompiente (obteniendo un efecto de amortiguamiento muy alto), mientras que cuando navega en lastre, y debido a la altura del mismo, el bulbo no genera ola rompiente ya que la nariz del bulbo se encuentra fuera del agua.

- *Parámetros del bulbo de proa*

En la primera etapa de anteproyecto del buque, por desconocer los calados en ciertas situaciones de carga, no se recomienda hacer un diseño detallado del bulbo de proa. Se estimarán por lo tanto las características básicas del mismo, que estarán sujetas a posibles modificaciones posteriores.

Nuestro buque a lo largo de su vida navegará en dos situaciones de carga bien definidas y que son viajes con carga y viajes de lastre. El bulbo será realmente efectivo en la situación de carga, cuando el buque navega en lastre el bulbo quedará por encima de la línea de flotación y su efecto es despreciable. Se opta por tanto, por un bulbo alto en forma de peonza, como se ha dicho anteriormente

Se han seguido en esta primera etapa los criterios que sostienen varios autores sobre los principales parámetros del bulbo: la protuberancia, la altura y el área transversal.

Hay que advertir, sin embargo, que los criterios que se ofrecen por estos autores, no deben tomarse como absolutos, de forma que sirviendo como referencia, dejan un margen de libertad al proyectista, que será quien mejor adapte estos parámetros al caso particular de trabajo.

Altura (h)

La ordenada sobre la línea de base de la máxima protuberancia del bulbo, ha de ser fijada de forma que en todas las situaciones de carga, la inmersión del bulbo sea aceptable. El criterio para fijar h será el siguiente siendo Tpr el calado de proa, para que el bulbo esté suficientemente cerca de la flotación.

$$0.55T_{pr} < h < 0.75T_{pr}$$

Así, h estaría comprendido entre 5,2 y 7 metros. En una primera fase de diseño tomaremos como dato de partida el valor de $0.65 \cdot T_{pr}$ que corresponde a 6,1 m.

Protuberancia (Xx)

La abscisa del punto de máxima protuberancia adimensionalizada es un parámetro menos crítico que la altura y depende de ésta. En este caso se calculará a través de la siguiente expresión:

$$X = X_x/L_{pp} = 0,2642 \cdot (C_b \cdot B/L_{pp}) - 0,0046$$

obteniendo como resultado $X_x = 5,055$ m.

Área transversal (Sb)

En la tesis doctoral de D. Manuel Carlier se ofrece un gráfico elaborado por métodos estadísticos, en el que se obtiene Sb a partir de L/B y Cb. Entrando en dicho gráfico con los valores correspondientes al buque de proyecto e interpolando entre las curvas se obtiene que el valor de Sb deberá ser del orden de 10,7 % el área de la maestra, que en el caso que nos ocupa es de 298 m². Este valor corresponde a alturas de bulbo del 45 % de Tpr:

$$S_b = 31,87 \text{ m}^2$$

Los parámetros finales adoptados para el bulbo son:

- Altura: 6,100 m
- Protuberancia: 5,055 m
- Área del bulbo: 31,87 m²

3.2 CUADERNAS

Existen dos tipos de cuadernas, las cuadernas en “U” y las cuadernas en “V”. Las primeras son de construcción más barata aunque tienen tendencia a producir fenómeno de slamming - macheteo -, mientras que las segundas son en este aspecto mejores al tener más afilada la parte baja, aunque su construcción es más cara. Se suelen utilizar en buques pequeños, por ejemplo en pesqueros, en los que el macheteo va a tener una influencia considerable. En buques de mayor tamaño, como en este caso, se utilizan cuadernas tipo “U”. Un aspecto importante en la construcción de las formas en “U” es que el radio de pantoque no sea muy grande. Su importancia radica en que se busca que el radio de pantoque sea tal que se pueda construir con una sola plancha para facilitar su construcción, ya que de esta manera el astillero no tiene que hacer coincidir las curvaturas de dos planchas diferentes, además de evitarse la soldadura correspondiente en esa zona.

Las formas en V tienen el problema de configuración de estela, la hélice trabaja mal y puede producir grandes vibraciones, para evitarlo en popa de nuestro buque dispondremos de formas intermedias U-V.

En la parte baja más cercana al propulsor la configuración de las cuadernas es en U, pasando después, conforme van ganado en altura a configuración en V.

3.3 FORMAS DE POPA

Es de vital importancia, ya que en ella se sitúan tanto el timón como el propulsor, y su diseño va a afectar de forma decisiva a la maniobrabilidad del buque y a su propulsión.

Las formas de popa son importantes, desde el punto de vista de capacidad, es decir, deben poder albergar en su interior volúmenes necesarios para equipos que debe disponer el buque, como es el motor principal. Esta reflexión es importante en este punto del desarrollo

del proyecto, pues hay que cerciorarse de que hay capacidad suficiente para que el motor principal a una altura de la línea de base igual al doble fondo de la cámara de máquinas.

Una tercera reflexión es la situación del centro geométrico del eje propulsor. En las características dadas por los fabricantes de motores y turbinas, viene especificada la altura existente entre la base de la turbina o motor y el centro del eje propulsor; de esta manera, sabiendo esta altura, y conociendo la altura del centro del eje respecto a la línea base, podremos conocer la altura del doble fondo de la cámara de máquinas.

Se opta por una popa de espejo siguiendo la norma general en este tipo de buques, ya que de acuerdo con el Sr. Núñez Basañez se consiguen líneas de flotación más largas y esbeltas, y una reducción apreciable de la resistencia a la marcha.

El coeficiente de afinamiento de la línea de agua correspondiente a la flotación es:

$$Cf \cdot B/L_{pp} = 0,127$$

Lo que nos indica que se presentarán torbellinos a popa (cosa que ocurre cuando dicho coeficiente sobrepasa el valor de 0,1), ahora bien, pensamos que prima el mantener estas dimensiones y formas en aras de criterios económicos y de capacidad sobre aquella consideración hidrodinámica. De otro modo habríamos de ir a dimensiones que desde el punto de vista económico serían peligrosas, por ejemplo, para dar un afinamiento de la línea de agua de 0,1 con el mismo coeficiente de flotación y la misma manga, nuestra L_{pp} aumentaría de un 35%. Si comparáramos este valor con el de un buque ya construido como el “Iñigo Tapias” se observa que se mantienen las formas, ya que para este último se obtiene:

$$Cf \cdot B/L_{pp} = 0,136$$

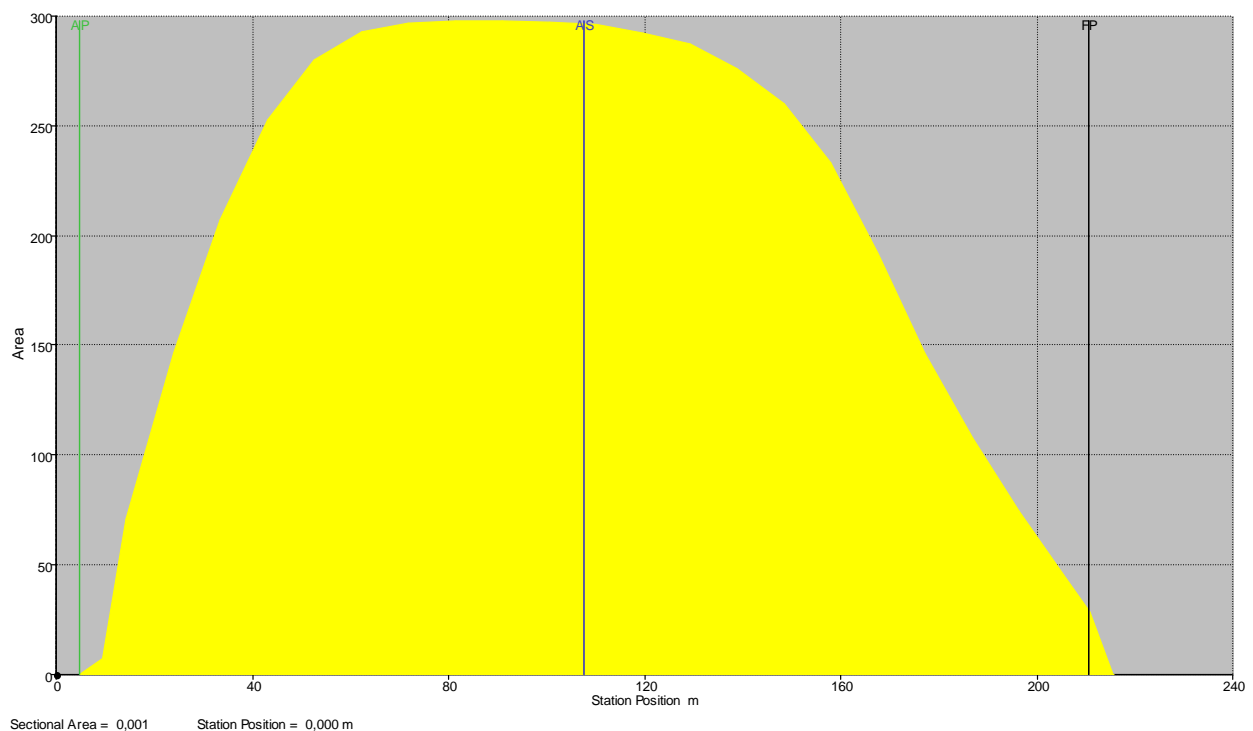
Se considera una bovedilla con inclinación ascendente hacia popa para amortiguar los movimientos de cabezada y disminuir el coeficiente de succión. Se opta por un codaste abierto para evitar la disipación de energía que produce la proximidad del talón de la hélice en el caso de los codastes cerrados.

El buque base posee bulbo de popa que proporciona mejoras en la zona de flujo hacia el propulsor en buques de alto coeficiente de bloque. Se evitan así las desigualdades circunferenciales de estela mejorando la interacción entre hélice y carena.

Debido a la similitud del buque base con el proyecto, se adoptará el mismo perfil de popa.

3.4 CURVA DE ÁREAS NORMALIZADAS. ANÁLISIS

La curva de áreas adimensionalizada obtenida para el buque proyecto es la que se expone a continuación:



A partir del análisis de esta curva podemos obtener unas conclusiones importantes:

- El área encerrada por la curva es el volumen de carena, de manera que integrando esta curva en eslora tenemos un valor de 44475 m³ aproximadamente, valor que vuelve a ser coherente con el calculado en el primer cuaderno, ya que se obtuvo un desplazamiento de 43586 m³.
- Coeficiente prismático, con un valor de 0,72 se encuentra cercano al obtenido teóricamente en el cuaderno anterior que era de 0,71

- El centro de gravedad del área encerrada proporciona la posición longitudinal del centro de carena. Este punto se encuentra a proa de la cuaderna maestra, como es típico en buques lentos, ya en estos buques la resistencia por formación de olas tiene relativa poca importancia, por lo que tiene menos importancia lo que ocurre en proa, mientras que lo que sucede en popa se estudia con más cuidado pues es importante la resistencia de origen viscoso.

Si se analiza cuidadosamente la curva, se observa que existen tres zonas diferenciadas:

a) *Cuerpo de entrada*

El cuerpo de entrada abarca desde los 140 m, hasta los 216,2 m, referidos al extremo de popa.

Cabe destacar en la zona más a proa la concavidad correspondiente al área del bulbo. Se puede apreciar, además, como esta zona se corresponde con un buque con un número de Froude de 0,200 menor que 0,250 es decir, un buque lento.

El cociente de longitud eslora es de:

$$L_{\text{entrada}}/L_{\text{pp}} = 0,33$$

b) *Cuerpo cilíndrico*

Este buque apenas llega a tener una zona realmente cilíndrica, al tratarse de un buque rápido que navega a unos 17,5 nudos dispone de formas afiladas en proa y se puede apreciar como la popa empieza a afilarse desde unos 57 m a proa de la perpendicular de popa.

En este caso el cuerpo cilíndrico se sitúa entre los valores 57 y 136 m respecto de la perpendicular de popa. El cociente de esta longitud y eslora es de:

$$L_{\text{cilíndrico}}/L_{\text{pp}} = 0,39$$

c) Cuerpo de salida

El cuerpo de salida abarca desde la popa hasta 57 metros respecto a la Ppp. Su cociente entre la eslora entre perpendiculares es de:

$$L_{\text{salida}}/L_{\text{pp}} = 0,28$$

Como se observa, el cuerpo de salida es relativamente alto disminuyendo así la R_{pov} (resistencia de presión de origen viscoso) al disminuir el desprendimiento del flujo.

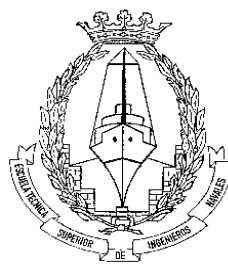
Finalmente hay que destacar que la unión del cuerpo cilíndrico con respecto a los otros dos se realiza a través de los denominados “shoulders”; como puede apreciarse en la curva, estas zonas de transición son suaves y con un gran radio de giro para evitar posibles desprendimientos de flujo en estas zonas.

PROYECTO FIN DE CARRERA N° 1564

LNG MEMBRANA 51.000 m³

CUADERNO 3

DISPOSICIÓN GENERAL



ENRIQUE DOPICO

TUTOR: Dn. SEBASTIAN ABRIL PÉREZ

INDICE

1. JUSTIFICACIÓN DE LA DISPOSICIÓN GENERAL.....	3
1.1 MAMPAROS FUNDAMENTALES	4
2. DIMENSIONES DEL DOBLE FONDO Y DEL DOBLE CASCO.....	7
3. DISPOSICIÓN DE LAS CUBIERTAS	8
4. CÁMARA DE MÁQUINAS.....	11
4.1 TANQUES DE CONSUMO	11
5. HABILITACIÓN	13
6. AMARRE Y FONDEO	14
7. SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA CARGA	15
8. MAQUINARIA DE CARGA.....	22

1. JUSTIFICACIÓN DE LA DISPOSICIÓN GENERAL

La disposición general, representada en el Plano de Disposición General, ha sido proyectada para el transporte, la carga y descarga de gas licuado. Su diseño se ha hecho basándose por un lado en las normas fijadas por el Bureau Veritas (BV), como Sociedad de Clasificación del buque, y por otro, en el diseño del buque base tomado como referencia y el de otros buques similares.

La zona de carga se ha diseñado con estructura longitudinal mientras que los piques de proa y popa, así como la Cámara de Máquinas, están provistos de estructura transversal, de acuerdo con las características del buque y las normas del BV. Únicamente a modo de recordatorio, conviene mencionar que son los refuerzos secundarios los que dan nombre a la estructura y los que transmiten los esfuerzos a los elementos primarios. Con estas consideraciones se ha optado por los siguientes espaciados de cuadernas:

- a) 800 mm: Este espaciado es el utilizado entre las cuadernas correspondientes a la zona del buque comprendida desde el mamparo de popa de la cámara de máquinas hasta la popa del buque. Este espaciado pequeño se considera necesario para poder soportar los esfuerzos a los que se ve sometida esta zona del buque por acción del servomotor, los movimientos del timón para poder dirigir el buque, las vibraciones que se producen en esta zona y por los motores y equipos de la cámara de máquinas.
- b) 830 mm: Este espaciado es el utilizado en la zona de carga del buque ya que es necesario repartir de modo adecuado los esfuerzos y tensiones que se producen a lo largo de esta zona del buque.
- c) 800 mm: De nuevo se utiliza esta separación entre cuadernas desde el mamparo de proa del tanque desde carga 1, hasta la proa del barco. El motivo de este espaciado es que esta zona va a ser sometida a importantes sollicitaciones como son entre otras las provocadas por la hélice transversal de proa, por el importante peso de la caja de cadenas, y por la necesidad de poder soportar posibles impactos de golpes de mar, “slamming”, varadas y posibles colisiones con otros buques, obras civiles u objetos naturales.

Se ha optado por situar varengas y bulárcamas en cada cuaderna comprendida entre la popa del buque y el mamparo de popa de la cámara de máquinas y a lo largo de la eslora de las turbinas.

Cada dos cuadernas en el resto de la cámara de máquinas. En la zona de proa del buque se han situado cada dos cuadernas. Se trata de una configuración habitual en este tipo de buques que permite satisfacer los requisitos de resistencia estructural.

En el resto del buque se sitúa varenga y bulárcama cada cuatro claras de cuadernas.

1.1 MAMPAROS FUNDAMENTALES

A continuación se va a definir la posición de cada uno de los mamparos fundamentales que dividen el buque:

a) Posición del pique de proa

Las sociedades de clasificación requieren que el mamparo del pique de proa se sitúe entre una distancia mínima y otra máxima a la perpendicular de proa, siendo para buques con bulbo de proa, y con eslora mayor de 200 m, los siguientes:

- Mínima: $10 \cdot f_2$
- Máxima: $0,08 \cdot L_{pp} \cdot f_2$

Donde:

- $f_2 = G/2$ (donde G es la protuberancia del bulbo en metros a partir de la perpendicular de proa)
 - $f_2 = 0,015 L_{pp}$, medidos por delante de la perpendicular de proa
 - $f_2 = 3$ m por delante de la perpendicular de proa
- tomando el menor de ambos cálculos.

De este modo el valor de G, obtenido en el cuaderno anterior para este buque es de:

$$G = 5,055 \text{ m}$$

Así el valor de $G/2$ es igual a 2,52 m, mientras que el valor de $0,015 \cdot L_{pp}$ es de 3,93 m, de este modo se toman los 2,52 metros para cumplir con lo dispuesto por las Sociedades de Clasificación.

Así la posición del pique de proa queda limitada por los siguientes valores:

- Mínima: 7,48 m
- Máxima: 18,46 m

De esta manera la distancia en el buque del pique de proa a la perpendicular de proa es de 10,4 m, por lo que se encuentra dentro de los límites establecidos por la Sociedad de Clasificación.

b) Posición del pique de popa

En este aspecto no existen valores mínimos ni máximos para la posición del pique de popa, sino que se establecerá en función de las condiciones de lastre del buque y otros aspectos.

En este caso la posición del mamparo de popa de la cámara de máquinas se encuentra a una distancia de 13,2 m desde la perpendicular de popa.

c) Posición del resto de mamparos

Todos los mamparos transversales principales del buque, se encuentran situados en las cuadernas que estarán reforzadas con bulárcamas y varengas para así poder conseguir una mayor resistencia estructural.

Se presenta a continuación la posición de los principales mamparos transversales del buque y la cuaderna en la que se encuentran:

Identificación Posición respecto a la perpendicular de popa N° de cuaderna

Mamparo de popa de CCMM 12.800 mm (Cuaderna 16)

Proa de CCMM 52.800 mm (Cuaderna 66).

Popa de tanque 4 55.000 mm (Cuaderna 67).

Popa de tanque 3 84.590 mm (Cuaderna 101).

Popa de tanque 2 119.160 mm (Cuaderna 141).

Popa de tanque 1 153.730 mm (Cuaderna 181).

Popa de tanque de F.O 180.830 mm (Cuaderna 212).

Mamparo de colisión 195.230 mm (Cuaderna 230).

La eslora de la cámara de máquinas se ha dimensionado en función de la eslora de las turbinas y los equipos de la planta propulsora y a la vez permitiera el trabajo de la tripulación dentro de la cámara. Con estos requisitos se sitúa la cámara de máquinas de manera que sus mamparos coincidan con las cuadernas reforzadas con varengas y bulárcamas.

Los mamparos de los tanques de se han dispuesto de manera que la eslora de dichos tanques mantengan las proporciones que de las dimensiones principales de estos tanques de manera equivalente al buque base, de esta manera se evita un indeseable aumento de las tensiones debidas al “sloshing” o chapoteo dentro de los tanques. Estas proporciones tomadas del buque base cumplen con los requerimientos de la sociedad GTT que es la suministradora del aislante térmico que disponen los tanques de carga en su cara interior.

La eslora de carga del buque es de 123,630 m, y el volumen total de los tanques de carga en una primera aproximación es de 51 000 m³.

2. DIMENSIONES DEL DOBLE FONDO Y DEL DOBLE CASCO

En este apartado se definirán las alturas del doble fondo y del doble casco del buque.

a) Altura del doble fondo

De acuerdo con las reglas de la Sociedad de Clasificación, la altura del doble fondo no podrá ser inferior al menor de estos dos valores:

$$d_b = B/15 = 2,74 \text{ m}$$

$$d_b = 2 \text{ m}$$

Se ha optado por una altura de doble fondo de 2,80 m, por ser este un valor superior al mínimo exigido por la reglamentación y así conseguir la capacidad de lastre deseada. Desde el punto de vista constructivo, es además una altura suficiente para poder realizar todos los trabajos de soldadura, construcción de bloques y montaje de tuberías que van a estar albergadas en el doble fondo.

b) Manga del doble casco

De acuerdo con el reglamento del Bureau Veritas la manga del doble casco para nuestro buque no será inferior a 760 mm. Finalmente se ha optado por un doble casco con una manga de 2 m.

Con esta manga de doble casco se consigue la capacidad de lastre deseada, que debido a las distintas condiciones de operación en las que va a tener que desenvolverse este buque necesita, y por otro lado se facilita n los accesos al doble casco, haciendo más fáciles las tareas de construcción e inspección.

3. DISPOSICIÓN DE LAS CUBIERTAS

En la zona de la cámara de máquinas se incluyen dos cubiertas plataforma y parte de la cubierta toldilla, ambas con una altura suficiente para dar cabida a las turbinas, calderas, equipos de la cámara de máquinas y cámara de control dejando los huecos necesarios para posibles movimientos, reparaciones y sustituciones de los mismos.

Estas dos cubiertas plataforma tienen una superficie y altura suficientes para poder albergar en ellas todos los equipos y elementos de la cámara de máquinas.

El puntal de la primera cubierta plataforma empezando por el doble fondo, llamada plataforma 1, es de 7,845 m, y el de la segunda, llamada plataforma 2, de 14,1 m. La cubierta toldilla se sitúa a una altura de 19 m quedando a la altura de la zona de amarre y fondeo de popa.

Además el local del servomotor debe tener las medidas suficientes para poder dar cabida al servomotor y que exista un espacio suficiente para poder operar en este local. Las dimensiones de este local son 4.950 mm de altura, 7.750mm de eslora y 15.500 mm de manga, medidas suficientemente grandes para alojar el equipo y permitir su mantenimiento.

La altura de las cubiertas es suficientemente grande como para poder dar cabida al equipo de aire acondicionado y dar lugar a espacios amplios y relativamente despejados que hagan más agradable la estancia a bordo. La altura de cada una de las cubiertas se muestra a continuación:

Cubierta Altura

Cubierta Principal 3.000 mm

Cubierta “A” 3.400 mm

Cubierta “B” 2.750 mm

Cubierta “C” 3.000 mm

Cubierta “D” 2.750 mm

Cubierta “E” 2.750 mm

Cubierta Puente 2.750 mm

Antes de comenzar a describir la disposición de las cubiertas, debemos indicar que toda la superestructura está constituida de estructura del tipo transversal, reforzada con cuadernas del mismo espaciado que las de la zona del casco en la que se encuentran.

A continuación se describe la disposición de los locales de todas las cubiertas del buque:

- Cubierta Puente: En esta cubierta se encuentran los equipos principales de navegación y comunicaciones, está equipada de un aseo, un local de convertidores, un espacio para la maquinaria del ascensor y un local de baterías. A esta cubierta se puede acceder mediante las escaleras o por medio del ascensor.
- Cubierta “D”: En esta cubierta están los camarotes y despachos del capitán, jefe de máquinas y armador, así como el camarote del piloto y otros cuatro camarotes de reserva.
- Cubierta “C”: En esta cubierta están los camarotes y despachos del maquinista de carga, del primer oficial, la sala de control de carga, así como la oficina central y la oficina de carga. y los camarotes de diversos oficiales. En la parte central de la cubierta está el salón de oficiales, la lavandería de oficiales así como un cuarto de ropa blanca.
- Cubierta “B”: En esta cubierta se encuentran el resto de camarotes de la tripulación, así como la sala de estar y la lavandería.
- Cubierta “A”: En esta cubierta se encuentran la cocina, los comedores de tripulación y oficiales, el gimnasio, la piscina, la sauna, el hospital, la enfermería, y el acceso al bote de rescate.
- Cubierta Principal: En esta cubierta se encuentran pañoles de cubierta a cada banda, el local de aire acondicionado, la gambuza seca, las distintas cámaras de congelación, la lavandería, el local de cuadros eléctricos y el cuarto central contra incendios.

- Cubierta Toldilla: Aquí se encuentran la cámara de control, tanques de reboses, local de gas inerte y generador de N₂, local de CO₂, local de espuma, el área de basuras, el local incinerador, los locales de botellas de acetileno y de oxígeno y los locales de productos químicos y de pinturas.
- Cubierta plataforma 2: En esta cubierta se encuentra el local del servotimón así como distintos equipos y sistemas de la sala de máquinas, dos tanques de agua dulce, tres tanques de agua destilada, tanque almacén de Diesel Oil, distintos tanques de Fuel Oil, el taller de la cámara de máquinas y su almacén.
- Cubierta plataforma 1: En esta plataforma se encuentran la base de las calderas, el motor auxiliar y los turbo generadores.

En todas las zonas del buque se ha cumplido con la reglamentación del SOLAS, en lo referente a evacuación y escapes en caso de incendios.

4. CÁMARA DE MÁQUINAS

La posición de la cámara de máquinas de ha optado por situarla a popa de la zona de carga y bajo la habilitación, por una serie de importantes motivos:

- En los buques tipo tanque es obligatorio situarla a popa de la zona de carga.
- Se reduce al mínimo el espacio desaprovechado por la línea de ejes.
- La línea de ejes será mucho más corta facilitando su alineación y disminuyendo la superficie de fricción, mejorando así el rendimiento en la transmisión de la potencia del motor propulsor.
- Zonas de carga más diáfanos y separadas del resto de los espacios del buque, consiguiendo así un mejor manejo de la carga y una mayor seguridad.
- Al estar situada la cámara de máquinas a popa se consiguen unas condiciones más favorables de navegación (trimado positivo en la zona de popa).
- Un mayor calado en la zona de popa en la que está situado el propulsor, consiguiendo así mejorar su rendimiento.
- Más fácil acceso a la tripulación a la cámara de máquinas.
- Etc ...

También se han dispuesto de dos tanques de almacén de Fuel Oil que albergan la capacidad necesaria de combustible junto con el tanque situado en la proa para atender a las necesidades energéticas en la combustión de la caldera como del motor auxiliar. Para cumplir con las exigencias de los reglamentos y por motivos de seguridad, se encuentran aislados de la zona de habilitación.

4.1 TANQUES DE CONSUMO

Los tanques de consumo vienen dimensionados por la autonomía que queramos darle al buque, que en este caso viene definida por la especificación del proyecto. Es decir la autonomía es un dato contractual de valor 18.000 millas, a plena carga y al 85% de la MCR.

A modo de resumen, ya que en el cuaderno 7 se hace un estudio mucho más exhaustivo de estos temas, se identifican, el número de tanques y su finalidad, que se disponen en la cámara de máquinas del buque:

- Un tanque para el aceite de la bocina.
- Un tanque de drenaje de aceite lubricante.
- Un tanque de aceite sucio.
- Un tanque de aceite de retorno.
- Un tanque de almacén de Diesel Oil.
- Un tanque de servicio diario de Diesel Oil.
- Un tanque de almacén de Gas Oil.
- Un tanque de servicio diario de Gas Oil.
- Un tanque de lodos.
- Un tanque de IMO de Fuel Oil.
- Un tanque de drenaje de Fuel Oil.
- Dos tanques de servicio diario de HFO para las calderas y el motor auxiliar.
- Un tanque de sedimentación de combustible para las calderas y el motor auxiliar.
- Un tanque de Gas Oil para el incinerador.
- Tres tanques de combustible para el motor auxiliar y las calderas, dos tanques se sitúan en la cámara de máquinas, y el otro a proa del buque debajo del castillo.
- Un tanque de almacén de aceite para los turbogeneradores.
- Un tanque de aceite para servicios varios.

La situación de estos tanques se puede ver en la disposición general del buque, habiendo tomado las diferentes posiciones de los mismos para tratar de hacer razonable los diferentes movimientos de fluidos en toda la cámara de máquinas.

5. HABILITACIÓN

En la zona de habilitación, comprendida entre las cubiertas superior y puente, se encuentran los camarotes, repartidos por las distintas cubiertas atendiendo a la categoría del puesto desempeñado, así el capitán, el jefe de máquinas se alojan en la cubierta “E” o cubierta capitán, en los camarotes más amplios y confortables, en la cubierta “D” se alojan el primer oficial y el maquinista de carga, el resto de oficiales junto con el cocinero, el contramaestre, el calderero y el mecánico se alojan en la cubierta “C”, mientras que el resto de la tripulación se alojan en la cubierta “B”, que está más cerca de la fuente de ruidos y vibraciones que son la cámara de máquinas y el propulsor, y su confort aún siendo elevado, no lo es tanto como los de los camarotes de las cubiertas superiores.

La disposición de la habilitación así como la disposición general del buque se encuentran en el plano adjunto a este cuadernillo.

6. AMARRE Y FONDEO

Tanto a proa como a popa existen zonas de amarre y fondeo equipadas con los equipos necesarios para poder realizar con seguridad y rapidez las operaciones necesarias. En el cuaderno número diez se especifican con detalle los equipos que componen estas zonas.

En el diseño de estas zonas se ha intentado y conseguido evitar el posible cruce de líneas de cabos y/o cadenas que podrían producir graves accidentes. Además se ha buscado el poder realizar estas maniobras con un número adecuado de equipos, intentando conseguir con el número mínimo exigido por los reglamentos, solventar todas las posibles situaciones basándonos en la máxima versatilidad de los equipos a bordo.

7. SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA CARGA

El sistema de contención de la carga del buque consta de los componentes principales que se relacionan a continuación:

Barrera primaria.

Barrea secundaria.

Aislamiento térmico.

Espacios intermedios.

Estructura de soporte adyacente.

De los distintos sistemas de contención de la carga en los buques metaneros nuestro proyecto dispondrá de tanques de membrana por requerimiento del proyecto.

Los tanques de membrana están constituidos por dos capas muy delgadas metálicas y espesores próximos a 1 mm, soportadas a través del aislamiento por la estructura del buque. Dadas las amplias variaciones de temperatura a la que se encuentran sometidas, las membranas están diseñadas de manera que se puedan contraer y expandir sin originar tensiones no satisfactorias en las citadas membranas.

Los tanques presentan una geometría prismática de sección octogonal, con caras planas que se intersectan formando diedros y triedros que constituyen las zonas más críticas.

La membrana es de material Invar que es patente de Gaz Transport Technigaz (GTT) modelo GTT No 96, que esta compuesta por los siguientes elementos:

La barrera primaria está constituida por una membrana compuesta por láminas de invar. (aleación de hierro austenítico y carbono 0,2% con 36% de níquel). Esta aleación posee la propiedad de tener un coeficiente de dilatación extremadamente bajo. Es además muy resistente a la corrosión y no magnético.

Las láminas de Invar correspondientes a la barrera primaria, están soportadas por unas cajas paralelepípedicas de madera contrachapada (“plywood”) rellenas de perlita de forma granular.

La perlita es un óxido de silicio y de aluminio que posee unas excelentes propiedades en cuanto al coeficiente de conductividad térmica se refiere (0,04 W/mK). Estas cajas configuran el aislamiento primario. El espesor del aislamiento nos determinara la cantidad de metano que se producirá por el “Boil-off”.

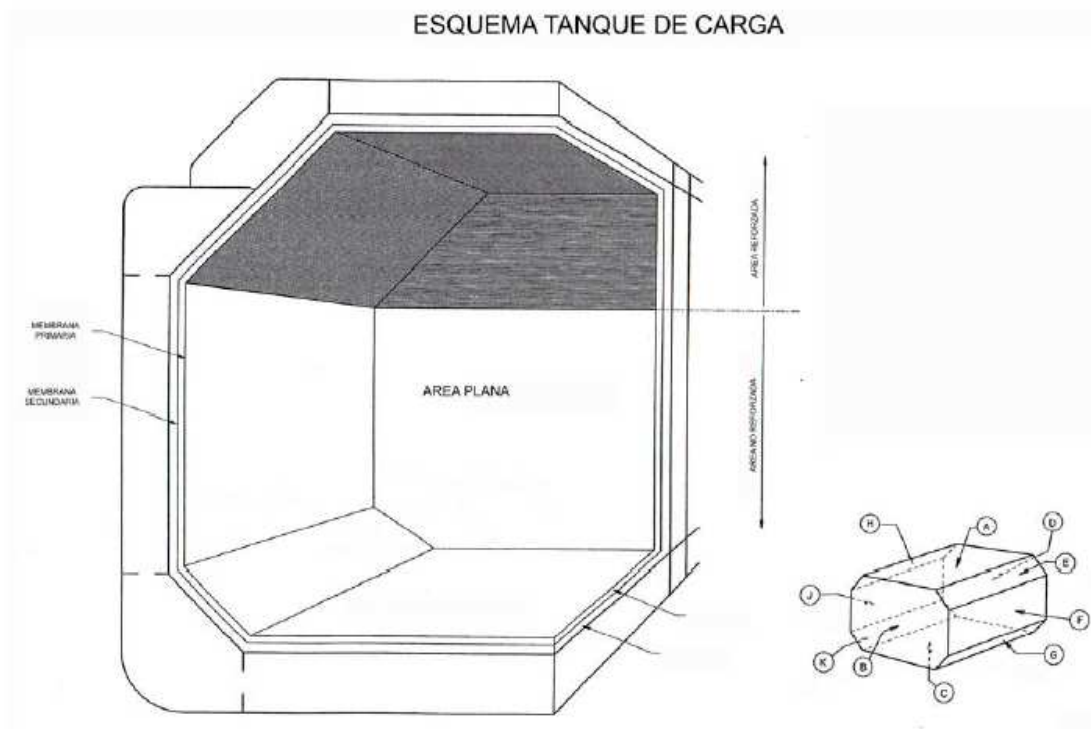
La barrea secundaria es similar a la barrea primaria y está soportada de forma análoga (mediante cajas de “plywood” rellenas de perlita). Estas cajas configuran el aislamiento secundario.

El espacio inter-barreras, así como el existente entre la cara exterior de la barrera secundaria y el casco del buque resulta drásticamente reducido requiriendo, por lo tanto, una cantidad de gas de inertización muy reducida.

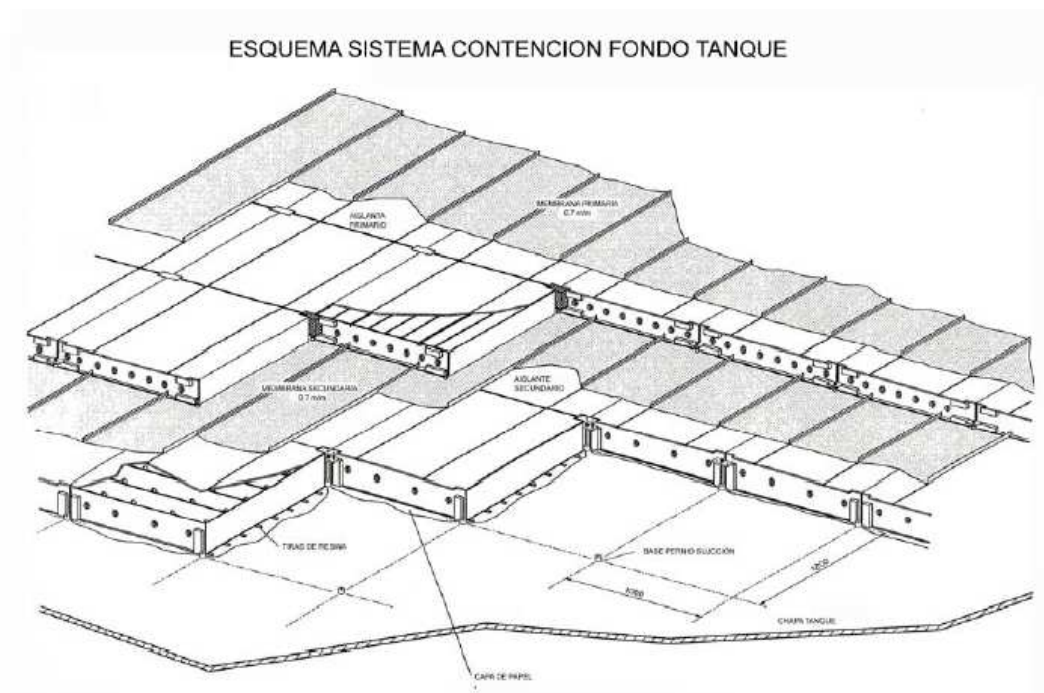
El espesor de la primera capa de aislante de cajas de madera con perlita tiene un espesor de 230 mm, mientras que la segunda capa tiene un espesor de 300 mm.

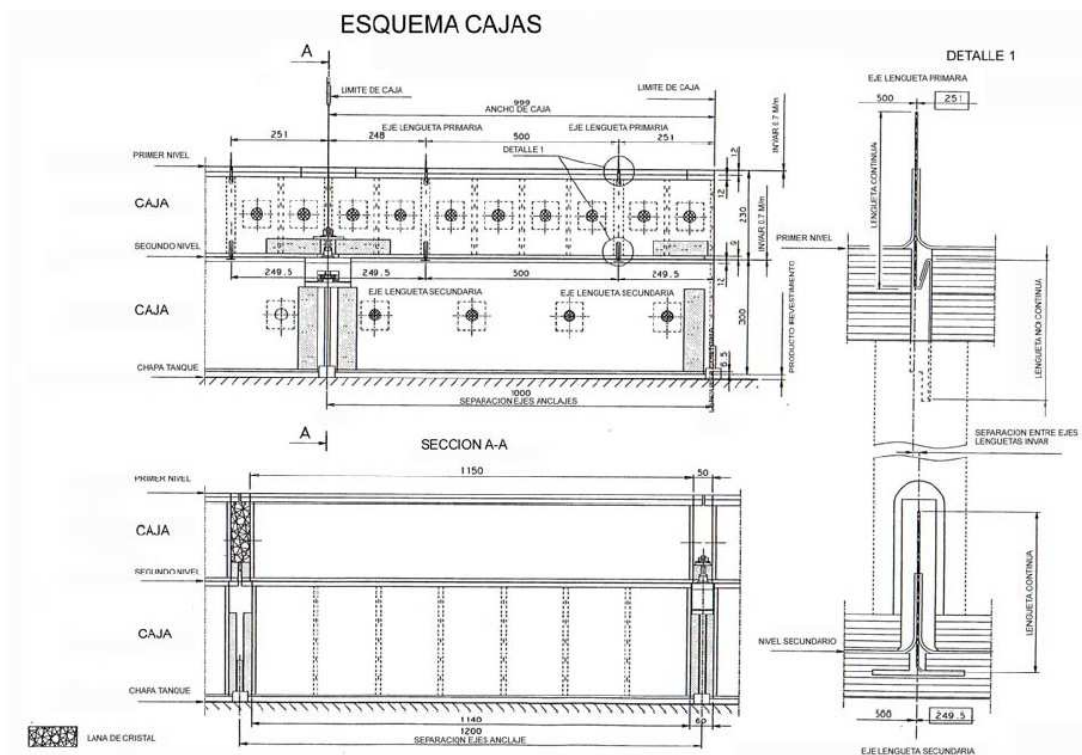
A continuación se muestran unos esquemas y gráficos donde se detallan la estructura y disposición de las membranas aislantes con sus distintos elementos, así como la estructura que soporta las bombas de carga y descarga. También se adjunta un detalle de exhaustación del gas evaporado de la carga.

ESQUEMA TANQUE DE CARGA

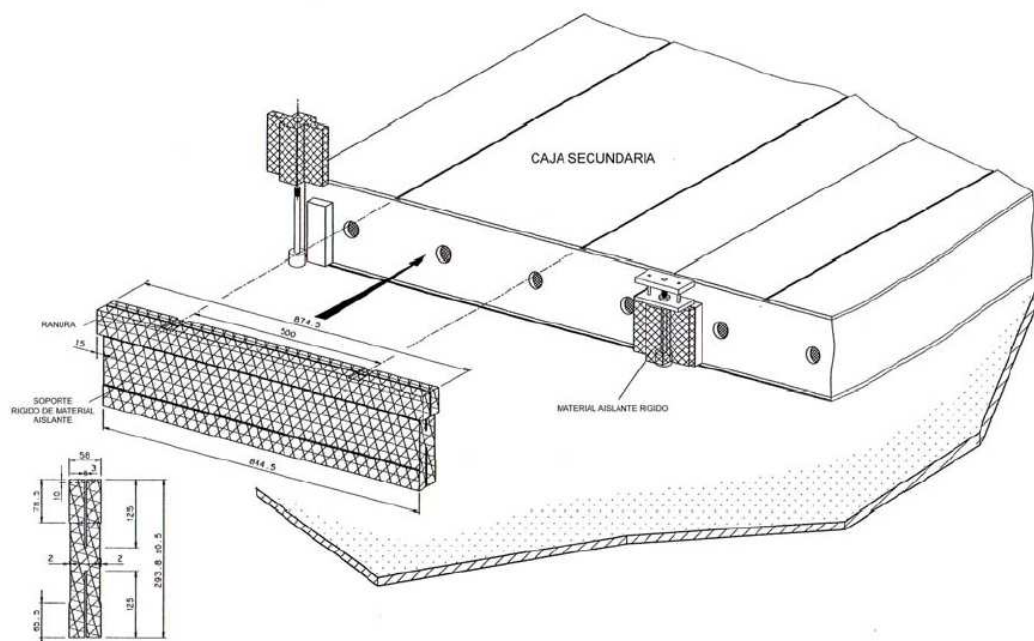


ESQUEMA SISTEMA CONTENCION FONDO TANQUE

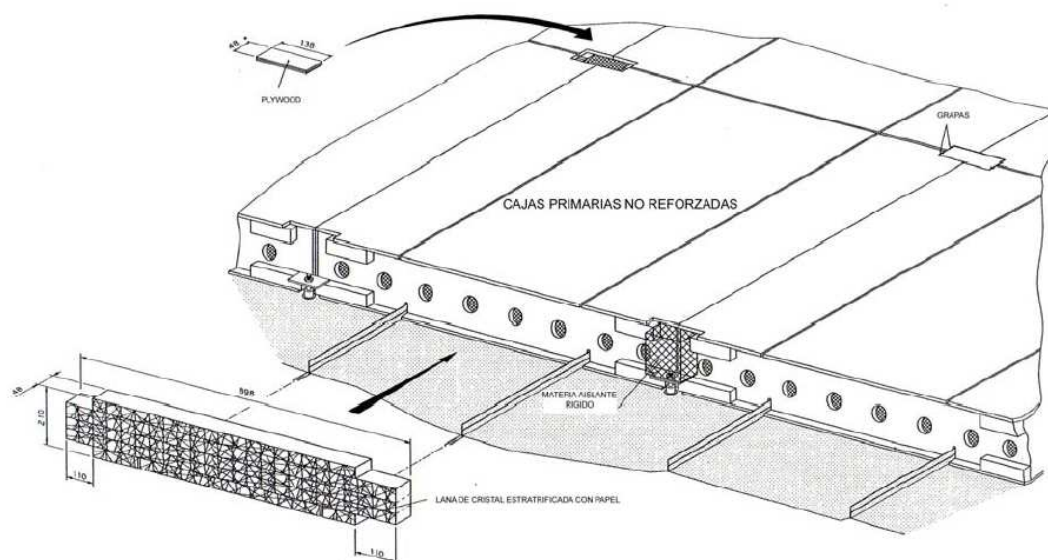




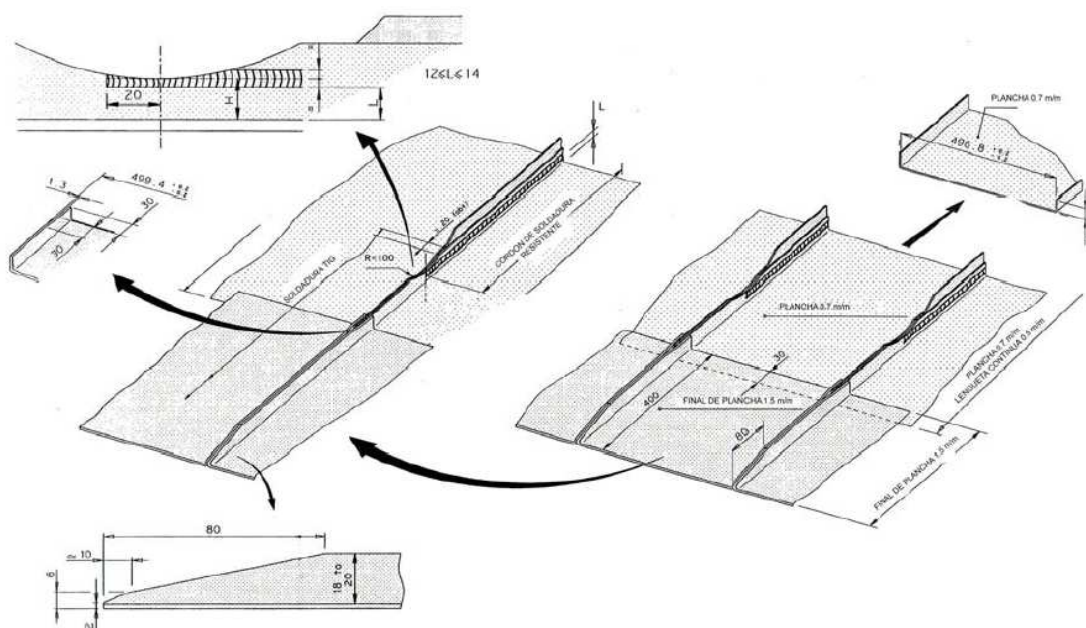
ASLANTE ENTRE CAJAS SECUNDARIAS



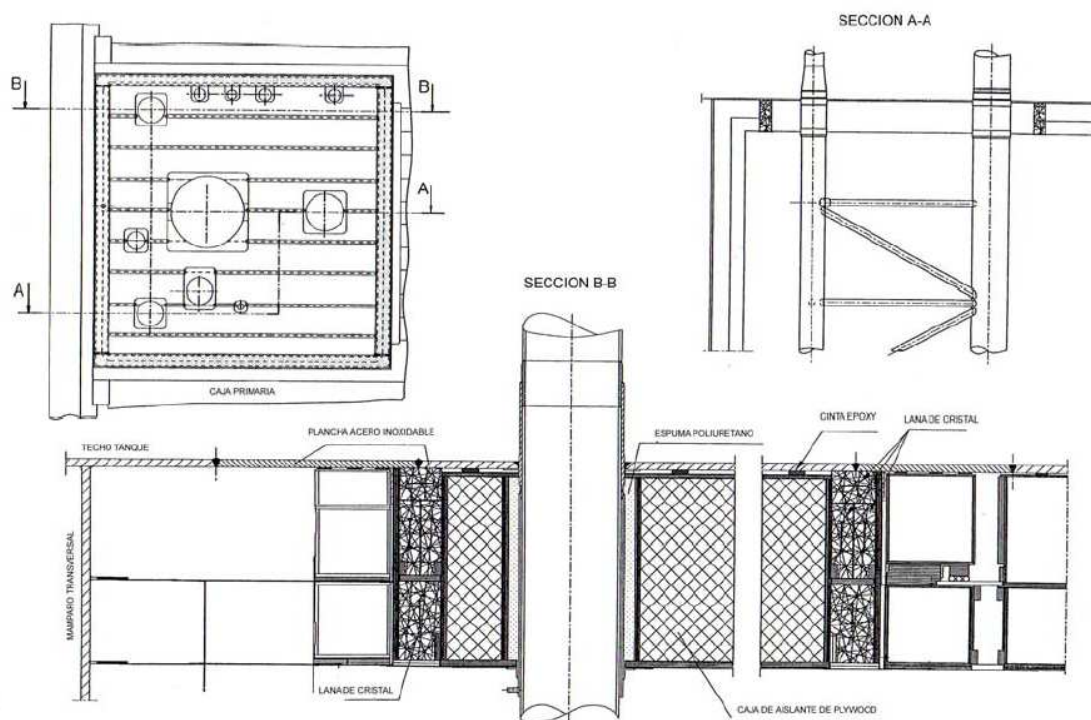
AISLANTE ENTRE CAJAS PRIMARIAS



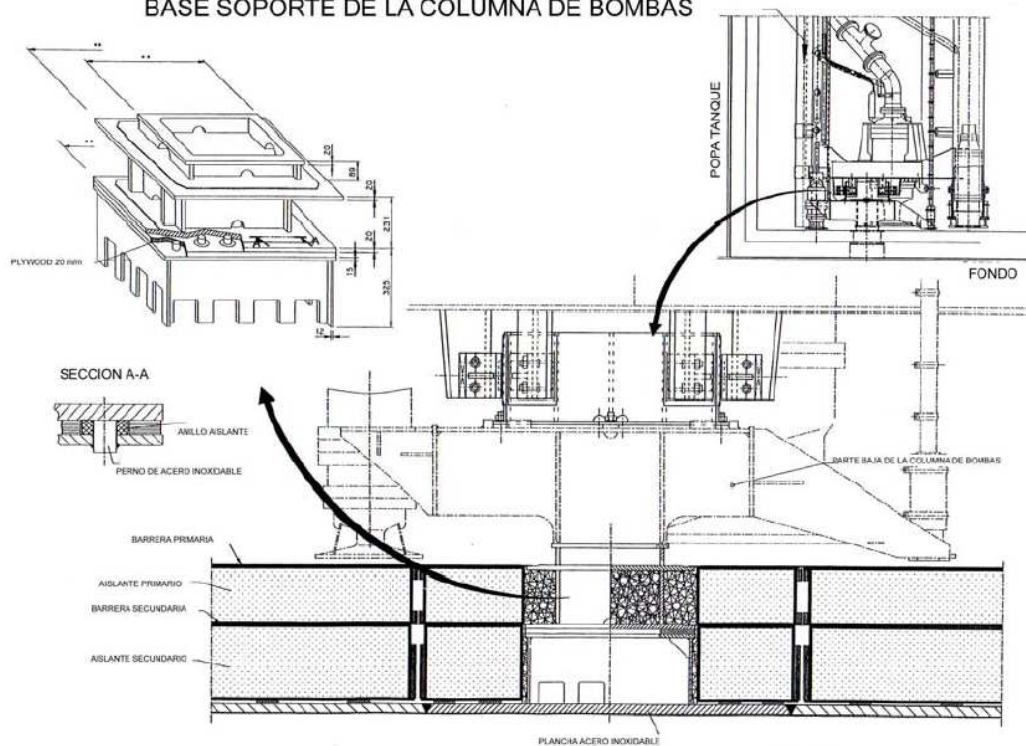
UNION DE MEMBRANA PRIMARIA Y SECUNDARIA



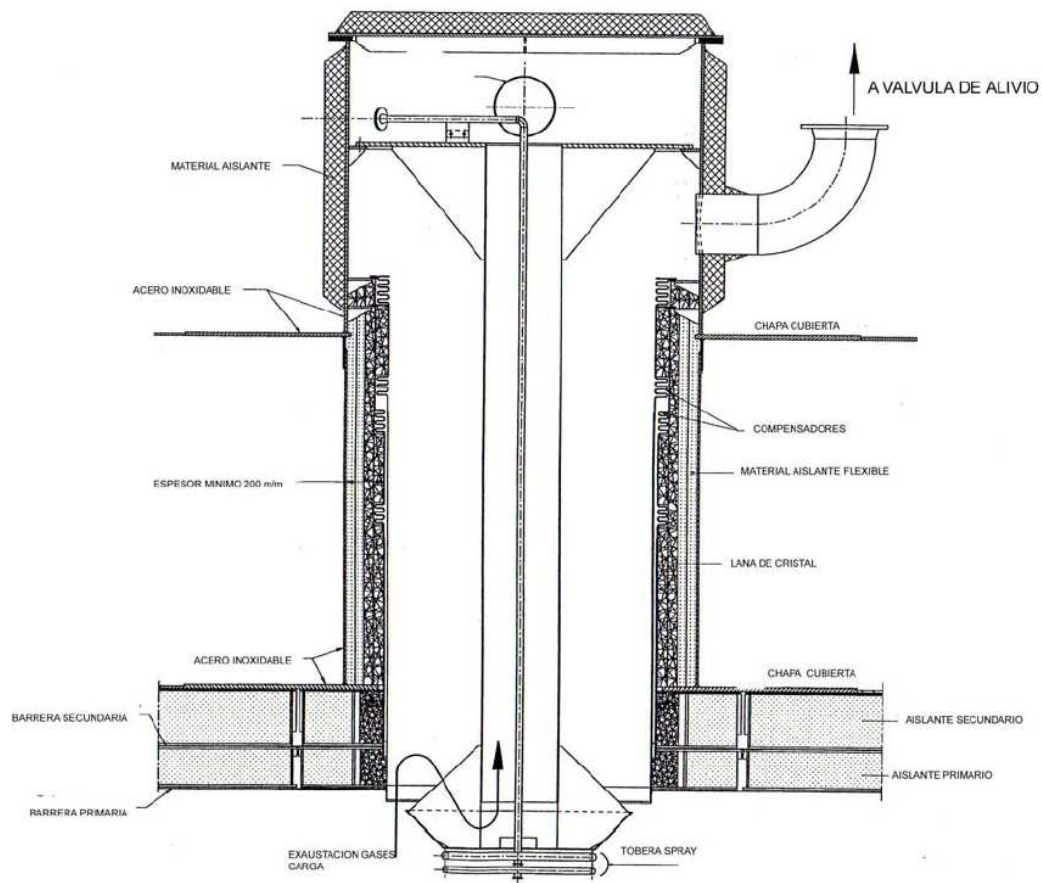
ESQUEMA COLUMNA DE BOMBAS



BASE SOPORTE DE LA COLUMNA DE BOMBAS



EXHAUSTACION DE GASES



8. MAQUINARIA DE CARGA

La maquinaria de manejo de carga se encuentra situada en las torres de los tanques de carga y en la caseta de maquinaria de carga, contando cada tanque con:

- 2 bombas de carga principal.

- 1 bomba de spray/vaciado.

Los equipos necesarios para la bomba de emergencia.

La caseta de maquinaria de carga esta situada sobre el tanque número 4, a estribor, sobre la cubierta superior. En dicha caseta se encuentra la maquinaria necesaria para el tratamiento y trasiego de la carga a cámara de máquinas. La caseta está dividida en dos partes mediante un mamparo estanco. Esta división se realiza para separar toda la maquinaria de carga de los motores eléctricos de los equipos. Los equipos instalados en dichas caseta son los siguientes:

- 2 compresores de alta capacidad.

- 2 compresores de baja capacidad.

- 2 calentadores de boil-off.

- 1 evaporador principal.

- 1 evaporador forzado.

- 2 bombas de vacío.

PROYECTO FIN DE CARRERA N°1564

LNG MEMBRANA 51.000 m³

CUADERNO 4

CALCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL



ENRIQUE DOPICO

TUTOR: Dn. SEBASTIAN ABRIL PÉREZ

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	CALCULO DE CURVAS HIDROSTÁTICAS.....	4
3.	CALCULO DE CARENAS INCLINADAS.....	9
4.	TABLA DE ESPACIOS, CAPACIDADES Y CENTROS DE GRAVEDAD.....	19
5.	CALCULO DEL FRANCOBORDO	42
	FRANCOBORDO TABULAR	43
	CORRECCIONES AL FRANCOBORDO TABULAR	44
	Corrección por puntal	44
	Reducción por superestructuras	44
	Corrección por variaciones respecto a la curva de arrufo normal	45
	FRANCOBORDO GEOMÉTRICO.....	47
	CORRECCIONES AL FRANCOBORDO POR ESCANTILLONADO Y ESTABILIDAD.....	47
	FRANCOBORDO TROPICAL	48
	FRANCOBORDO DE INVIERNO	48
	FRANCOBORDO PARA AGUA DULCE	49
6.	CÁLCULO DEL ARQUEO.....	50
	3.1. ARQUEO BRUTO	50
	3.2. ARQUEO NETO	51
7.	PUNTO DE INUNDACIÓN PROGRESIVA.....	52

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente cuaderno es presentar los cálculos de Arquitectura Naval del buque de proyecto cuyas formas están ya definidas en el Cuaderno 2. Estas formas permiten calcular las características hidrostáticas de la carena.

Una vez definida la disposición de espacios bajo la cubierta principal, superestructura, cámara de máquinas y castillo de proa, tal y como se indica en el *Cuaderno 3. Disposición General*, pueden obtenerse las curvas de carenas inclinadas (Curvas KN) y la tabla de capacidades con las características principales de los espacios considerados.

Para el cálculo del francobordo se utilizará el Convenio Internacional sobre Líneas de Carga, vigente desde 1966, con las correspondientes enmiendas aprobadas en 1971, 1975 y 1979. Este convenio es aplicable al buque en proyecto puesto que no cumple ninguna de las excepciones de dicho reglamento.

El cálculo de carenas inclinadas, curvas hidrostáticas y capacidades se ha realizado con los módulos HIDROMAX del sistema MAXSURF.

Para el cálculo del arqueo del buque se utilizará el Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques del 23 de Junio de 1969.

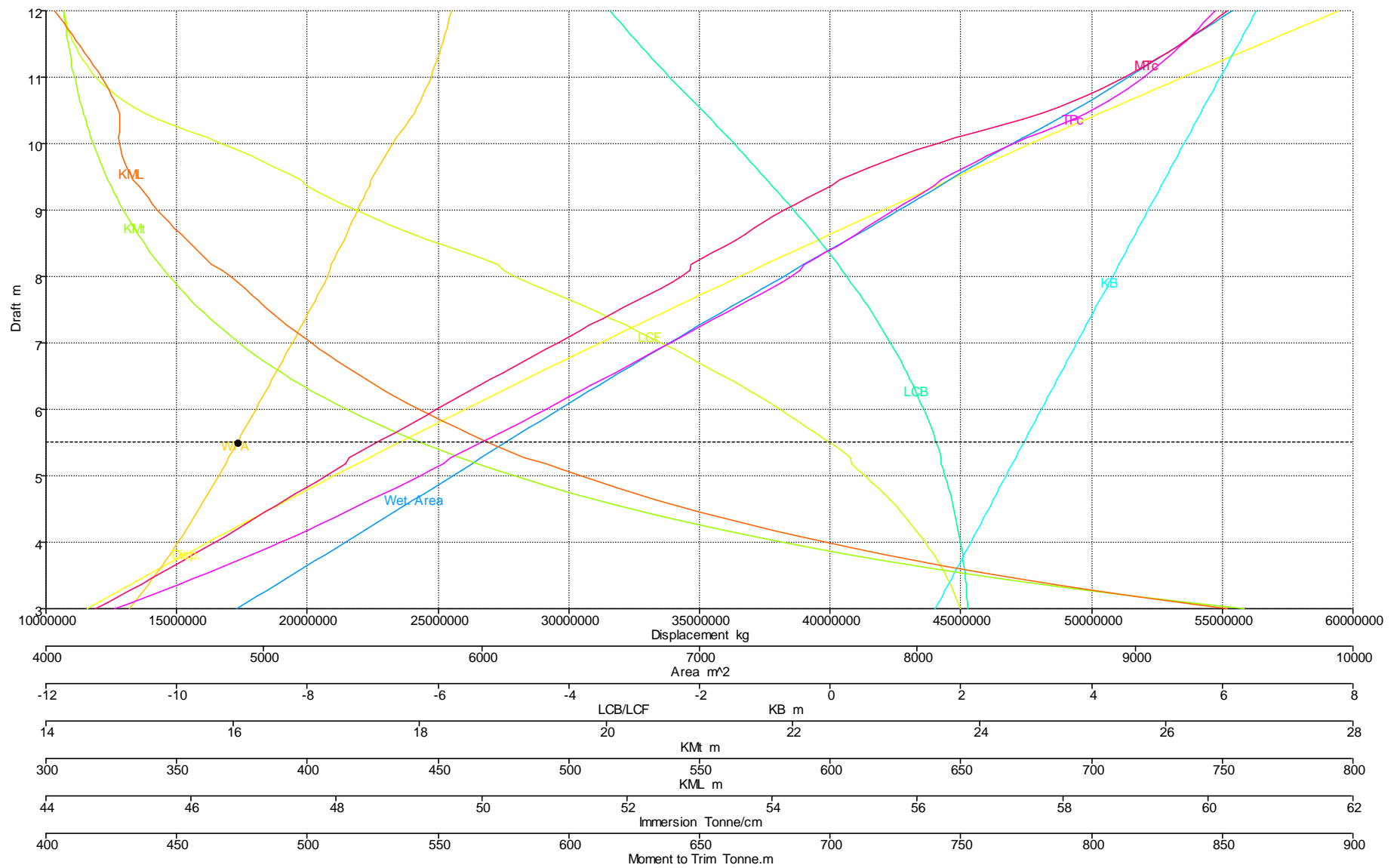
2. CALCULO DE CURVAS HIDROSTÁTICAS

Desplazamiento kg	Calado PPopa m	Calado PProa m	Calado LCF m	Eslora de flotación m	Manga flotación m	Area mojada m ²	Area flotación m ²	Cp	Cb	Cm	Cf	LCB m	LCF m	KB m	KG m	BMt m	BML m	GMt m	GML m	KMt m	KML m	TPc Tonne / cm	MTc Tonne. m
59467,826	12	12	12	213.204	32	9444.303	5861.857	0.718	0.712	0.993	0.863	3.364 Aft	11.736 Aft	6.524	9.487	7.666	296.898	4.704	293.936	14.191	303.422	60.096	851.859
58921,841	11.909	11.909	11.909	213.146	32	9402.035	5854.537	0.717	0.711	0.992	0.862	3.287 Aft	11.713 Aft	6.474	9.487	7.723	298.614	4.711	295.602	14.198	305.088	60.021	848.822
58376,543	11.818	11.818	11.818	213.088	32	9359.72	5847.097	0.716	0.71	0.992	0.861	3.208 Aft	11.688 Aft	6.424	9.487	7.781	300.339	4.719	297.277	14.205	306.763	59.944	845.731
57831,948	11.727	11.727	11.727	213.030	32	9317.325	5839.448	0.715	0.709	0.992	0.86	3.128 Aft	11.660 Aft	6.373	9.487	7.84	302.067	4.727	298.954	14.214	308.44	59.866	842.568
57288,087	11.636	11.636	11.636	212.973	32	9274.607	5831.365	0.714	0.708	0.992	0.859	3.048 Aft	11.624 Aft	6.323	9.487	7.899	303.755	4.736	300.592	14.222	310.078	59.783	839.218
56744,984	11.545	11.545	11.545	212.915	32	9231.867	5823.195	0.713	0.707	0.992	0.858	2.966 Aft	11.588 Aft	6.273	9.487	7.96	305.46	4.746	302.246	14.232	311.732	59.699	835.835
56202,653	11.455	11.455	11.455	212.857	32	9188.907	5814.684	0.712	0.706	0.992	0.857	2.883 Aft	11.545 Aft	6.222	9.487	8.021	307.145	4.756	303.881	14.243	313.367	59.612	832.325
55661,137	11.364	11.364	11.364	212.801	32	9145.661	5805.772	0.711	0.705	0.992	0.856	2.799 Aft	11.496 Aft	6.172	9.487	8.082	308.798	4.768	305.483	14.254	314.97	59.521	828.653
55120,464	11.273	11.273	11.273	212.744	32	9102.233	5796.55	0.71	0.704	0.992	0.855	2.714 Aft	11.440 Aft	6.121	9.487	8.145	310.435	4.779	307.07	14.266	316.556	59.426	824.865
54580,675	11.182	11.182	11.182	212.687	32	9058.595	5786.898	0.709	0.703	0.992	0.854	2.628 Aft	11.377 Aft	6.071	9.487	8.207	312.044	4.791	308.629	14.278	318.115	59.327	820.934
54041,796	11.091	11.091	11.091	212.631	32	9014.754	5776.988	0.708	0.702	0.992	0.852	2.541 Aft	11.309 Aft	6.02	9.487	8.271	313.641	4.804	310.175	14.291	319.662	59.226	816.901
53503,862	11	11	11	212.574	32	8970.582	5766.615	0.707	0.701	0.992	0.851	2.453 Aft	11.233 Aft	5.97	9.487	8.335	315.192	4.818	311.675	14.305	321.162	59.119	812.682
52966,926	10.909	10.909	10.909	212.518	32	8925.747	5755.397	0.706	0.7	0.992	0.85	2.364 Aft	11.143 Aft	5.919	9.487	8.399	316.634	4.832	313.066	14.318	322.553	59.004	808.117
52431,068	10.818	10.818	10.818	212.463	32	8880.537	5743.625	0.705	0.699	0.992	0.848	2.275 Aft	11.044 Aft	5.869	9.487	8.465	318.006	4.847	314.388	14.333	323.874	58.884	803.318
51896,33	10.727	10.727	10.727	212.407	32	8835.109	5731.291	0.704	0.698	0.992	0.847	2.185 Aft	10.932 Aft	5.818	9.487	8.531	319.301	4.863	315.632	14.349	325.119	58.757	798.273
51362,782	10.636	10.636	10.636	212.352	32	8788.983	5718.207	0.703	0.697	0.992	0.845	2.095 Aft	10.804 Aft	5.768	9.487	8.598	320.488	4.88	316.769	14.366	326.256	58.623	792.912
50830,493	10.545	10.545	10.545	212.296	32	8742.024	5704.22	0.702	0.696	0.992	0.843	2.005 Aft	10.658 Aft	5.717	9.487	8.667	321.525	4.898	317.755	14.385	327.242	58.48	787.136
50299,558	10.455	10.455	10.455	212.241	32	8693.908	5688.912	0.701	0.695	0.991	0.841	1.914 Aft	10.489 Aft	5.667	9.487	8.737	322.332	4.917	318.512	14.404	327.999	58.323	780.771
49770,149	10.364	10.364	10.364	211.959	32	8643.834	5671.348	0.701	0.694	0.991	0.84	1.824 Aft	10.281 Aft	5.616	9.487	8.808	322.725	4.937	318.854	14.424	328.341	58.143	773.382
49242,478	10.273	10.273	10.273	210.831	32	8592.279	5651.894	0.703	0.697	0.991	0.841	1.735 Aft	10.042 Aft	5.566	9.487	8.878	322.782	4.957	318.861	14.443	328.348	57.943	765.2
48716,64	10.182	10.182	10.182	209.697	32	8540.609	5631.984	0.706	0.699	0.991	0.843	1.646 Aft	9.797 Aft	5.515	9.487	8.947	322.81	4.976	318.839	14.462	328.326	57.739	756.976
48192,709	10.091	10.091	10.091	208.587	32	8487.033	5610.053	0.709	0.702	0.991	0.844	1.559 Aft	9.517 Aft	5.465	9.487	9.017	322.463	4.995	318.441	14.482	327.928	57.514	747.901
47670,468	10	10	10	207.774	32	8437.778	5592.35	0.71	0.703	0.991	0.845	1.473 Aft	9.311 Aft	5.415	9.487	9.088	322.971	5.017	318.899	14.503	328.386	57.333	740.86
47150,112	9.909	9.909	9.909	207.164	32	8386.915	5573.232	0.711	0.704	0.991	0.844	1.387 Aft	9.072 Aft	5.365	9.487	9.161	323.219	5.04	319.097	14.526	328.584	57.137	733.228

46631,191	9.818	9.818	9.818	206.721	32	8337.933	5556.487	0.711	0.704	0.991	0.843	1.302 Aft	8.865 Aft	5.315	9.487	9.236	323.968	5.065	319.797	14.551	329.283	56.965	726.747
46113,844	9.727	9.727	9.727	206.288	32	8289.99	5540.787	0.711	0.704	0.991	0.843	1.218 Aft	8.674 Aft	5.265	9.487	9.313	324.953	5.091	320.732	14.577	330.218	56.804	720.786
45598,093	9.636	9.636	9.636	206.070	32	8241.883	5524.863	0.711	0.704	0.991	0.841	1.135 Aft	8.479 Aft	5.215	9.487	9.39	325.924	5.119	321.652	14.605	331.139	56.641	714.769
45083,909	9.545	9.545	9.545	206.050	32	8194.237	5509.377	0.71	0.703	0.991	0.839	1.052 Aft	8.290 Aft	5.165	9.487	9.469	327.021	5.147	322.699	14.634	332.186	56.482	709.011
44571,127	9.455	9.455	9.455	206.044	32	8146.862	5494.418	0.709	0.701	0.991	0.837	0.970 Aft	8.105 Aft	5.115	9.487	9.55	328.244	5.178	323.873	14.665	333.36	56.329	703.496
44059,394	9.364	9.364	9.364	206.052	32	8102.081	5484.271	0.707	0.7	0.99	0.835	0.887 Aft	8.000 Aft	5.065	9.487	9.631	330.507	5.21	326.085	14.696	335.572	56.225	700.169
43548,72	9.273	9.273	9.273	206.077	32	8056.495	5471.14	0.706	0.698	0.99	0.833	0.805 Aft	7.841 Aft	5.015	9.487	9.711	332.265	5.24	327.794	14.726	337.28	56.09	695.679
43039,363	9.182	9.182	9.182	206.121	32	8010.567	5457.929	0.705	0.697	0.99	0.831	0.722 Aft	7.665 Aft	4.966	9.487	9.793	334.085	5.272	329.564	14.759	339.051	55.955	691.256
42531,333	9.091	9.091	9.091	206.185	32	7963.589	5444.38	0.703	0.695	0.99	0.829	0.640 Aft	7.468 Aft	4.916	9.487	9.877	335.917	5.306	331.346	14.793	340.833	55.816	686.79
42024,626	9	9	9	206.288	32	7915.72	5430.623	0.701	0.694	0.99	0.826	0.560 Aft	7.252 Aft	4.866	9.487	9.962	337.794	5.341	333.173	14.828	342.66	55.675	682.35
41519,218	8.909	8.909	8.909	206.557	32	7868.277	5417.399	0.699	0.692	0.99	0.823	0.480 Aft	7.041 Aft	4.816	9.487	10.04 9	339.829	5.378	335.158	14.865	344.645	55.539	678.16
41014,97	8.818	8.818	8.818	206.864	32	7821.487	5405.259	0.697	0.689	0.99	0.82	0.400 Aft	6.839 Aft	4.766	9.487	10.13 8	342.138	5.418	337.418	14.904	346.904	55.415	674.44
40511,841	8.727	8.727	8.727	207.222	32	7774.083	5392.728	0.694	0.687	0.99	0.817	0.322 Aft	6.626 Aft	4.717	9.487	10.22 9	344.447	5.459	339.677	14.945	349.163	55.286	670.627
40009,826	8.636	8.636	8.636	207.657	32	7725.179	5381.095	0.692	0.684	0.99	0.813	0.244 Aft	6.382 Aft	4.667	9.487	10.32	347.154	5.5	342.335	14.987	351.821	55.167	667.499
39508,938	8.545	8.545	8.545	208.240	32.001	7676.133	5368.266	0.688	0.681	0.99	0.809	0.168 Aft	6.139 Aft	4.617	9.487	10.41 2	349.637	5.542	344.768	15.029	354.255	55.035	663.828
39009,294	8.455	8.455	8.455	208.593	32.001	7625.322	5354.193	0.686	0.678	0.989	0.805	0.094 Aft	5.865 Aft	4.567	9.487	10.50 5	351.974	5.586	347.055	15.072	356.542	54.891	659.781
38510,99	8.364	8.364	8.364	208.723	32.001	7574.09	5339.028	0.684	0.676	0.989	0.803	0.021 Aft	5.585 Aft	4.518	9.487	10.60 1	354.104	5.632	349.135	15.118	358.621	54.736	655.256
38014,061	8.273	8.273	8.273	208.799	32.001	7524.476	5324.858	0.683	0.675	0.989	0.8	0.050 Fwd	5.333 Aft	4.468	9.487	10.7	356.44	5.681	351.422	15.168	360.908	54.59	651.038
37518,443	8.182	8.182	8.182	208.838	32.001	7475.178	5310.458	0.681	0.673	0.989	0.798	0.120 Fwd	5.089 Aft	4.418	9.487	10.8	358.776	5.732	353.708	15.218	363.194	54.443	646.729
37027,537	8.091	8.091	8.091	208.852	32.001	7431.667	5304.427	0.68	0.672	0.989	0.797	0.179 Fwd	5.003 Aft	4.369	9.487	10.9	363.165	5.783	358.047	15.269	367.534	54.381	646.098
36533,471	8	8	8	208.836	32.002	7385.591	5293.007	0.679	0.67	0.989	0.795	0.248 Fwd	4.820 Aft	4.319	9.487	11.00 5	366.326	5.838	361.158	15.324	370.645	54.264	643.016
36040,553	7.909	7.909	7.909	208.806	32.002	7338.901	5280.151	0.677	0.669	0.989	0.793	0.317 Fwd	4.622 Aft	4.27	9.487	11.11 1	369.243	5.894	364.026	15.381	373.513	54.132	639.377
35548,899	7.818	7.818	7.818	208.764	32.002	7290.922	5265.642	0.676	0.668	0.989	0.791	0.384 Fwd	4.403 Aft	4.22	9.487	11.21 7	371.887	5.95	366.621	15.437	376.107	53.983	635.15
35058,643	7.727	7.727	7.727	208.701	32.001	7242.17	5250.34	0.675	0.666	0.988	0.789	0.450 Fwd	4.175 Aft	4.17	9.487	11.32 5	374.41	6.009	369.093	15.495	378.58	53.826	630.615
34569,485	7.636	7.636	7.636	208.636	32.001	7193.294	5235.059	0.674	0.665	0.988	0.787	0.515 Fwd	3.956 Aft	4.121	9.487	11.43 8	376.992	6.072	371.626	15.558	381.112	53.67	626.083
34081,741	7.545	7.545	7.545	208.581	32.001	7144.573	5219.554	0.673	0.664	0.988	0.785	0.579 Fwd	3.741 Aft	4.071	9.487	11.55 2	379.597	6.136	374.181	15.623	383.668	53.511	621.494
33595,899	7.455	7.455	7.455	208.548	32.001	7097.116	5205.002	0.671	0.663	0.988	0.783	0.641 Fwd	3.543 Aft	4.021	9.487	11.67	382.462	6.205	376.997	15.692	386.483	53.362	617.244

33111,653	7.364	7.364	7.364	208.503	32.001	7049.287	5189.952	0.67	0.661	0.988	0.781	0.700 Fwd	3.343 Aft	3.972	9.487	11.79	385.287	6.276	379.772	15.762	389.259	53.207	612.826
32628,856	7.273	7.273	7.273	208.457	32.002	7000.813	5173.897	0.669	0.66	0.988	0.779	0.758 Fwd	3.128 Aft	3.922	9.487	11.91	387.996	6.346	382.431	15.833	391.918	53.043	608.119
32147,441	7.182	7.182	7.182	208.403	32.002	6954.995	5160.064	0.668	0.659	0.988	0.777	0.814 Fwd	2.955 Aft	3.873	9.487	12.03 6	391.271	6.422	385.657	15.909	395.144	52.901	604.2
31667,324	7.091	7.091	7.091	208.346	32.002	6908.926	5145.819	0.666	0.657	0.987	0.775	0.870 Fwd	2.778 Aft	3.823	9.487	12.16 5	394.538	6.502	388.875	15.988	398.361	52.755	600.142
31188,546	7	7	7	208.285	32.003	6862.225	5130.831	0.665	0.656	0.987	0.773	0.924 Fwd	2.592 Aft	3.774	9.487	12.29 6	397.75	6.583	392.037	16.07	401.523	52.601	595.875
30711,227	6.909	6.909	6.909	208.219	32.003	6814.641	5114.7	0.664	0.655	0.987	0.771	0.977 Fwd	2.393 Aft	3.724	9.487	12.42 6	400.806	6.664	395.044	16.151	404.53	52.436	591.256
30235,349	6.818	6.818	6.818	208.151	32	6768.3	5099.787	0.663	0.653	0.987	0.769	1.028 Fwd	2.218 Aft	3.675	9.487	12.56 4	404.228	6.752	398.416	16.239	407.903	52.283	587.064
29760,844	6.727	6.727	6.727	208.075	32	6722.417	5085.169	0.662	0.652	0.987	0.767	1.078 Fwd	2.051 Aft	3.626	9.487	12.70 7	407.8	6.846	401.939	16.333	411.425	52.133	582.96
29287,684	6.636	6.636	6.636	208.000	32	6676.63	5070.514	0.66	0.651	0.987	0.765	1.127 Fwd	1.886 Aft	3.576	9.487	12.85 3	411.487	6.943	405.577	16.43	415.063	51.983	578.883
28815,898	6.545	6.545	6.545	207.917	32.001	6630.709	5055.523	0.659	0.649	0.986	0.763	1.174 Fwd	1.717 Aft	3.527	9.487	13.00 3	415.213	7.044	409.253	16.53	418.74	51.829	574.721
28345,534	6.455	6.455	6.455	207.833	32.001	6584.197	5039.614	0.658	0.648	0.986	0.761	1.221 Fwd	1.544 Aft	3.478	9.487	13.15 5	418.833	7.146	412.824	16.633	422.31	51.666	570.272
27876,678	6.364	6.364	6.364	207.743	32.001	6537.743	5023.652	0.657	0.647	0.986	0.759	1.265 Fwd	1.372 Aft	3.428	9.487	13.31 1	422.545	7.253	416.487	16.74	425.974	51.502	565.817
27409,238	6.273	6.273	6.273	207.650	32.001	6492.392	5008.65	0.656	0.645	0.986	0.757	1.309 Fwd	1.217 Aft	3.379	9.487	13.47 4	426.617	7.366	420.509	16.853	429.996	51.349	561.702
26943,206	6.182	6.182	6.182	207.554	32	6446.864	4993.317	0.654	0.644	0.986	0.755	1.351 Fwd	1.060 Aft	3.33	9.487	13.64 2	430.715	7.485	424.558	16.972	434.045	51.191	557.468
26478,585	6.091	6.091	6.091	207.453	32	6401.338	4978.137	0.653	0.643	0.985	0.753	1.392 Fwd	0.911 Aft	3.281	9.487	13.81 4	435.014	7.608	428.808	17.095	438.295	51.036	553.339
26015,375	6	6	6	207.352	32	6356.097	4963.146	0.652	0.641	0.985	0.751	1.431 Fwd	0.768 Aft	3.231	9.487	13.99 1	439.53	7.736	433.275	17.223	442.761	50.882	549.322
25553,548	5.909	5.909	5.909	207.245	32	6310.99	4948.047	0.651	0.64	0.985	0.749	1.470 Fwd	0.629 Aft	3.182	9.487	14.17 2	444.218	7.867	437.914	17.354	447.4	50.727	545.347
25093,123	5.818	5.818	5.818	207.137	32	6265.955	4932.921	0.65	0.639	0.985	0.747	1.507 Fwd	0.490 Aft	3.133	9.487	14.36	449.019	8.006	442.665	17.493	452.152	50.572	541.332
24634,11	5.727	5.727	5.727	207.026	32	6220.609	4917.341	0.648	0.637	0.984	0.745	1.543 Fwd	0.348 Aft	3.084	9.487	14.55 3	453.87	8.151	447.467	17.637	456.953	50.413	537.194
24176,59	5.636	5.636	5.636	206.913	32.001	6175.016	4901.037	0.647	0.636	0.984	0.743	1.577 Fwd	0.206 Aft	3.035	9.487	14.74 9	458.764	8.297	452.312	17.784	461.798	50.245	532.925
23720,579	5.545	5.545	5.545	206.798	32.001	6129.571	4884.798	0.646	0.635	0.984	0.741	1.610 Fwd	0.069 Aft	2.985	9.487	14.95 4	463.839	8.453	457.338	17.939	466.824	50.079	528.683
23266,083	5.455	5.455	5.455	206.681	32.001	6084.033	4868.409	0.645	0.633	0.984	0.739	1.641 Fwd	0.068 Fwd	2.936	9.487	15.16 6	469.034	8.616	462.484	18.102	471.97	49.911	524.388
22813,11	5.364	5.364	5.364	206.565	32.001	6038.908	4852.18	0.644	0.632	0.983	0.737	1.671 Fwd	0.192 Fwd	2.887	9.487	15.38 1	474.516	8.782	467.917	18.268	477.403	49.745	520.219
22361,644	5.273	5.273	5.273	206.451	32.001	5993.842	4835.943	0.642	0.63	0.983	0.735	1.700 Fwd	0.316 Fwd	2.838	9.487	15.60 4	480.23	8.956	473.581	18.442	483.068	49.578	516.097
21917,855	5.182	5.182	5.182	206.336	32.002	5958.755	4825.184	0.641	0.629	0.983	0.734	1.700 Fwd	0.329 Fwd	2.79	9.487	15.83 1	488.404	9.134	481.707	18.62	491.193	49.468	514.534
21468,283	5.091	5.091	5.091	206.216	32.002	5913.89	4809.8	0.64	0.627	0.982	0.732	1.730 Fwd	0.430 Fwd	2.74	9.487	16.07 3	494.999	9.327	488.253	18.814	497.739	49.31	510.829

21020,183	5	5	5	206.097	32.002	5869.253	4794.553	0.638	0.626	0.982	0.73	1.759 Fwd	0.526 Fwd	2.691	9.487	16.32 5	501.92	9.529	495.124	19.016	504.611	49.154	507.205
20573,589	4.909	4.909	4.909	205.973	32.002	5824.274	4778.613	0.637	0.624	0.982	0.728	1.787 Fwd	0.626 Fwd	2.642	9.487	16.58 2	508.954	9.738	502.11	19.224	511.597	48.99	503.433
20128,565	4.818	4.818	4.818	205.847	32.001	5778.908	4761.832	0.636	0.623	0.981	0.726	1.813 Fwd	0.727 Fwd	2.593	9.487	16.84 5	516.08	9.951	509.187	19.438	518.673	48.818	499.486
19685,181	4.727	4.727	4.727	205.718	32	5733.21	4744.471	0.634	0.621	0.981	0.724	1.838 Fwd	0.830 Fwd	2.544	9.487	17.11 6	523.341	10.174	516.398	19.66	525.885	48.64	495.401
19243,448	4.636	4.636	4.636	205.586	32.001	5687.827	4727.295	0.633	0.62	0.981	0.722	1.862 Fwd	0.926 Fwd	2.495	9.487	17.40 2	530.925	10.411	523.933	19.897	533.42	48.464	491.351
18803,327	4.545	4.545	4.545	204.600	32.001	5643.043	4710.739	0.632	0.618	0.98	0.719	1.885 Fwd	1.006 Fwd	2.446	9.487	17.69 8	539.131	10.658	532.09	20.144	541.577	48.294	487.588
18364,776	4.455	4.455	4.455	205.310	32.002	5598.344	4694.159	0.63	0.616	0.98	0.717	1.906 Fwd	1.085 Fwd	2.397	9.487	18.00 9	547.679	10.919	540.589	20.406	550.075	48.125	483.822
17927,789	4.364	4.364	4.364	205.165	32.002	5554.11	4677.787	0.629	0.615	0.98	0.715	1.927 Fwd	1.154 Fwd	2.348	9.487	18.33 3	556.711	11.194	549.572	20.681	559.059	47.957	480.158
17492,384	4.273	4.273	4.273	205.017	32.002	5509.541	4660.73	0.627	0.613	0.979	0.713	1.946 Fwd	1.228 Fwd	2.299	9.487	18.66 5	566.016	11.478	558.829	20.964	568.315	47.782	476.388
17058,618	4.182	4.182	4.182	204.863	32.003	5464.761	4643.249	0.626	0.611	0.979	0.711	1.965 Fwd	1.305 Fwd	2.25	9.487	19.01 1	575.649	11.774	568.412	21.26	577.899	47.603	472.542
16626,521	4.091	4.091	4.091	204.706	32.003	5420.125	4625.518	0.625	0.61	0.978	0.709	1.982 Fwd	1.387 Fwd	2.201	9.487	19.36 9	585.767	12.084	578.482	21.57	587.968	47.421	468.731
16196,111	4	4	4	204.543	32.004	5375.087	4607.116	0.623	0.608	0.978	0.707	1.997 Fwd	1.450 Fwd	2.152	9.487	19.74 1	596.169	12.406	588.834	21.893	598.321	47.232	464.769
15767,476	3.909	3.909	3.909	204.377	32.004	5329.669	4588.025	0.622	0.606	0.977	0.704	2.012 Fwd	1.517 Fwd	2.103	9.487	20.12 7	606.89	12.743	599.506	22.229	608.993	47.036	460.669
15340,671	3.818	3.818	3.818	204.205	32.004	5284.199	4568.615	0.62	0.604	0.977	0.702	2.025 Fwd	1.578 Fwd	2.054	9.487	20.52 7	618.158	13.094	610.725	22.581	620.212	46.837	456.587
14915,689	3.727	3.727	3.727	204.032	32.001	5238.873	4549.286	0.619	0.602	0.976	0.7	2.038 Fwd	1.635 Fwd	2.005	9.487	20.95	630.048	13.468	622.566	22.954	632.053	46.639	452.545
14492,522	3.636	3.636	3.636	203.853	31.998	5193.774	4530.037	0.617	0.601	0.976	0.697	2.049 Fwd	1.690 Fwd	1.956	9.487	21.39 8	642.543	13.868	635.012	23.354	644.499	46.442	448.497
14071,174	3.545	3.545	3.545	203.671	31.995	5148.749	4510.598	0.616	0.599	0.975	0.695	2.059 Fwd	1.744 Fwd	1.907	9.487	21.86 6	655.726	14.287	648.146	23.773	657.633	46.243	444.464
13651,684	3.455	3.455	3.455	203.487	31.997	5103.374	4490.491	0.614	0.597	0.974	0.693	2.069 Fwd	1.797 Fwd	1.858	9.487	22.35 2	669.537	14.723	661.909	24.21	671.395	46.037	440.37
13234,093	3.364	3.364	3.364	203.300	31.998	5058.146	4470.35	0.613	0.595	0.974	0.69	2.077 Fwd	1.844 Fwd	1.809	9.487	22.86 6	684.133	15.189	676.456	24.676	685.943	45.83	436.282
12818,402	3.273	3.273	3.273	203.111	31.999	5012.765	4449.784	0.611	0.593	0.973	0.688	2.084 Fwd	1.880 Fwd	1.76	9.487	23.41 2	699.425	15.685	691.698	25.172	701.185	45.619	432.099
12404,693	3.182	3.182	3.182	202.919	32	4967.18	4428.658	0.609	0.59	0.972	0.685	2.090 Fwd	1.912 Fwd	1.711	9.487	23.98 6	715.48	16.211	707.705	25.697	717.192	45.403	427.83
11992,982	3.091	3.091	3.091	202.695	32.001	4921.623	4407.145	0.608	0.588	0.971	0.682	2.095 Fwd	1.952 Fwd	1.662	9.487	24.59	732.61	16.766	724.786	26.252	734.273	45.182	423.614
11583,303	3	3	3	202.440	32.002	4875.379	4384.664	0.606	0.586	0.97	0.68	2.098 Fwd	1.992 Fwd	1.613	9.487	25.22 6	750.346	17.353	742.473	26.839	751.959	44.952	419.127



Draft = 5.511 m WPA = 4878.507 m²

3. CALCULO DE CARENAS INCLINADAS

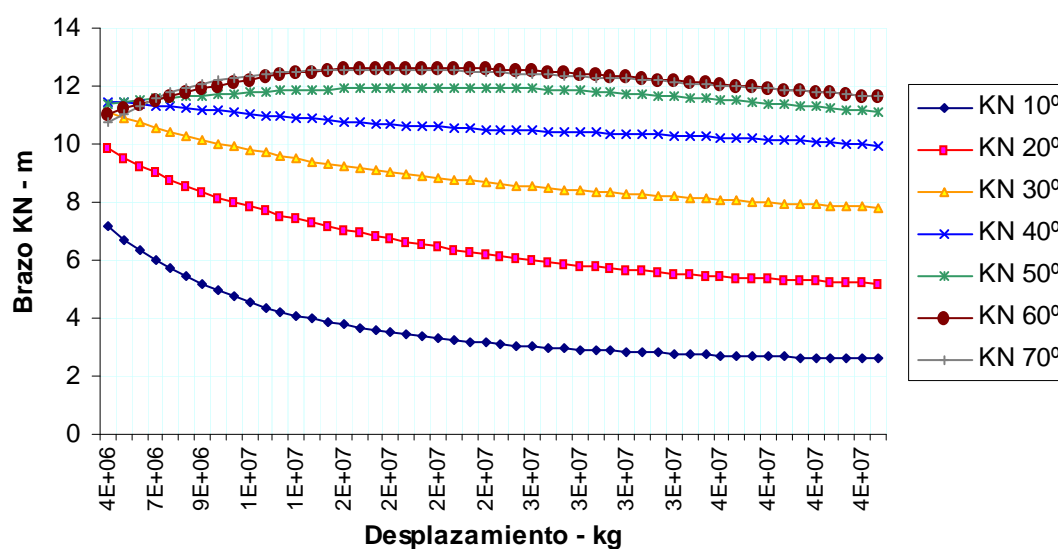
Análisis de los valores obtenidos de $KN = GZ - KG \cdot \sin \alpha$ en función del desplazamiento que tengamos. Los cálculos se han realizado para distintas condiciones de trimado, variando el ángulo de escora en el rango 0° - 70°.

▪ **Calculo de KN (Trimado –2 m)**

Desplazamiento Tn	KN 10°	KN 20°	KN 30°	KN 40°	KN 50°	KN 60°	KN 70°
4476,316	7.146	9.878	11.092	11.468	11.385	11.047	10.75
5298,496	6.723	9.551	10.912	11.422	11.451	11.224	11.044
6120,677	6.346	9.263	10.738	11.377	11.51	11.383	11.313
6942,857	6.008	9.006	10.575	11.331	11.562	11.528	11.553
7765,037	5.701	8.77	10.422	11.284	11.609	11.663	11.759
8587,218	5.42	8.556	10.279	11.236	11.651	11.788	11.932
9409,398	5.164	8.357	10.146	11.189	11.689	11.906	12.074
10231,58	4.933	8.172	10.023	11.14	11.724	12.016	12.189
11053,76	4.725	8.002	9.905	11.091	11.754	12.121	12.281
11875,94	4.541	7.842	9.795	11.043	11.782	12.22	12.354
12698,12	4.375	7.692	9.69	10.997	11.808	12.311	12.412
13520,3	4.227	7.551	9.591	10.953	11.831	12.39	12.459
14342,48	4.093	7.417	9.498	10.91	11.851	12.458	12.495
15164,66	3.971	7.291	9.409	10.868	11.87	12.514	12.521
15986,84	3.86	7.17	9.326	10.828	11.887	12.56	12.541
16809,02	3.76	7.054	9.247	10.789	11.902	12.595	12.555
17631,2	3.669	6.945	9.171	10.752	11.916	12.621	12.564
18453,38	3.585	6.84	9.1	10.717	11.93	12.639	12.567
19275,56	3.508	6.739	9.032	10.684	11.942	12.648	12.566
20097,74	3.436	6.642	8.967	10.652	11.952	12.652	12.56
20919,92	3.371	6.549	8.905	10.621	11.96	12.651	12.553
21742,1	3.311	6.46	8.846	10.593	11.963	12.645	12.542
22564,28	3.255	6.375	8.789	10.566	11.963	12.634	12.528
23386,46	3.203	6.293	8.735	10.541	11.959	12.619	12.512
24208,65	3.154	6.215	8.682	10.517	11.951	12.6	12.493
25030,83	3.109	6.141	8.632	10.494	11.938	12.577	12.471
25853,01	3.068	6.071	8.583	10.473	11.922	12.552	12.447
26675,19	3.029	6.005	8.536	10.453	11.904	12.525	12.423

27497,37	2.993	5.943	8.491	10.434	11.882	12.495	12.397
28319,55	2.959	5.883	8.447	10.417	11.858	12.463	12.369
29141,73	2.927	5.827	8.405	10.4	11.831	12.429	12.339
29963,91	2.897	5.774	8.364	10.384	11.803	12.394	12.308
30786,09	2.87	5.725	8.324	10.369	11.773	12.356	12.275
31608,27	2.843	5.677	8.285	10.353	11.741	12.318	12.242
32430,45	2.819	5.633	8.248	10.337	11.708	12.279	12.208
33252,63	2.796	5.59	8.212	10.32	11.674	12.239	12.174
34074,81	2.774	5.551	8.177	10.302	11.638	12.197	12.138
34896,99	2.754	5.513	8.142	10.283	11.602	12.154	12.102
35719,17	2.735	5.477	8.109	10.262	11.565	12.111	12.065
36541,35	2.717	5.443	8.077	10.24	11.528	12.068	12.027
37363,53	2.7	5.412	8.045	10.216	11.489	12.025	11.99
38185,71	2.685	5.382	8.015	10.191	11.45	11.982	11.952
39007,89	2.67	5.353	7.985	10.164	11.411	11.938	11.914
39830,07	2.656	5.326	7.957	10.135	11.37	11.895	11.875
40652,25	2.643	5.301	7.929	10.105	11.33	11.851	11.837
41474,43	2.63	5.277	7.903	10.074	11.289	11.808	11.799
42296,61	2.619	5.254	7.877	10.042	11.247	11.765	11.761
43118,79	2.608	5.233	7.852	10.008	11.205	11.723	11.723
43940,97	2.598	5.213	7.829	9.974	11.162	11.68	11.685
44763,15	2.588	5.193	7.807	9.938	11.119	11.638	11.648

Carenas inclinadas - trimado -2 m

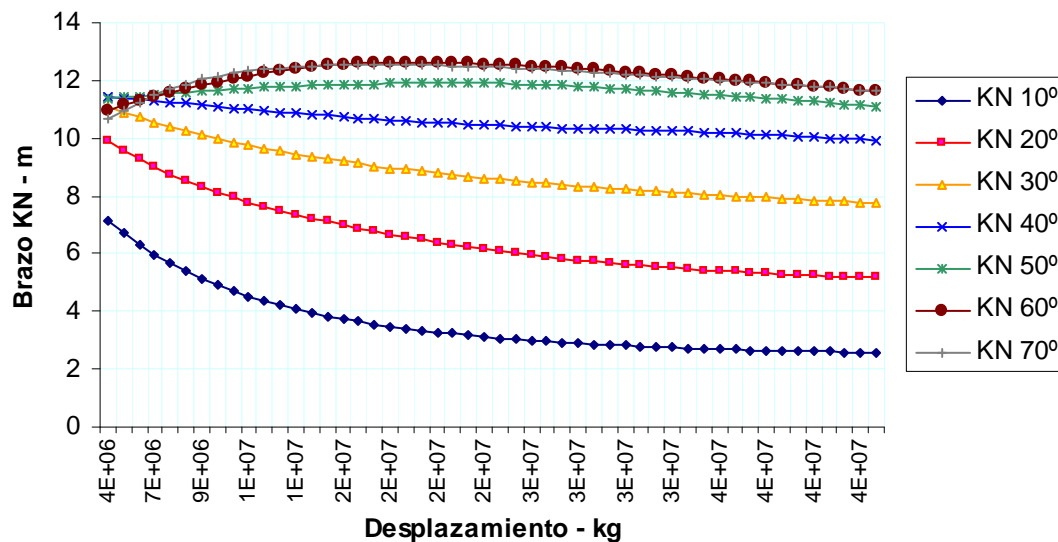


▪ **Calculo de KN (Trimado –1 m)**

DesplazamientoTn	KN 10°	KN 20°	KN 30°	KN 40°	KN 50°	KN 60°	KN 70°
4476,316	7.172	9.92	11.073	11.432	11.336	10.982	10.653
5298,496	6.728	9.579	10.895	11.384	11.401	11.159	10.952
6120,677	6.34	9.274	10.725	11.335	11.459	11.317	11.224
6942,857	5.994	9	10.562	11.29	11.51	11.464	11.473
7765,037	5.682	8.751	10.407	11.243	11.555	11.599	11.696
8587,218	5.399	8.527	10.261	11.196	11.598	11.725	11.881
9409,398	5.141	8.323	10.122	11.148	11.635	11.843	12.029
10231,58	4.908	8.135	9.99	11.101	11.669	11.954	12.147
11053,76	4.7	7.96	9.868	11.053	11.701	12.06	12.241
11875,94	4.514	7.797	9.753	11.005	11.73	12.16	12.317
12698,12	4.348	7.646	9.644	10.958	11.755	12.255	12.378
13520,3	4.199	7.503	9.543	10.911	11.779	12.34	12.424
14342,48	4.065	7.368	9.447	10.866	11.801	12.414	12.461
15164,66	3.944	7.24	9.356	10.823	11.82	12.474	12.489
15986,84	3.833	7.119	9.271	10.781	11.837	12.521	12.511
16809,02	3.733	7.004	9.19	10.74	11.854	12.558	12.525
17631,2	3.64	6.894	9.114	10.701	11.869	12.584	12.533
18453,38	3.556	6.788	9.042	10.664	11.883	12.604	12.536
19275,56	3.479	6.687	8.973	10.628	11.895	12.616	12.537
20097,74	3.409	6.591	8.908	10.595	11.906	12.621	12.533
20919,92	3.343	6.499	8.845	10.564	11.916	12.62	12.526
21742,1	3.283	6.41	8.786	10.534	11.922	12.615	12.516
22564,28	3.226	6.325	8.729	10.506	11.924	12.606	12.503
23386,46	3.175	6.244	8.675	10.48	11.92	12.592	12.487
24208,65	3.127	6.167	8.623	10.456	11.912	12.574	12.469
25030,83	3.083	6.094	8.573	10.433	11.9	12.553	12.449
25853,01	3.041	6.025	8.524	10.412	11.884	12.529	12.428
26675,19	3.002	5.959	8.478	10.392	11.865	12.502	12.404
27497,37	2.966	5.897	8.433	10.373	11.844	12.472	12.378
28319,55	2.933	5.838	8.389	10.356	11.82	12.441	12.351
29141,73	2.902	5.783	8.348	10.339	11.794	12.408	12.322
29963,91	2.872	5.73	8.307	10.324	11.766	12.373	12.292
30786,09	2.845	5.681	8.268	10.309	11.737	12.336	12.261

31608,27	2.819	5.634	8.23	10.296	11.706	12.298	12.229
32430,45	2.795	5.591	8.193	10.282	11.673	12.258	12.196
33252,63	2.773	5.549	8.158	10.268	11.64	12.217	12.161
34074,81	2.752	5.51	8.124	10.253	11.605	12.175	12.126
34896,99	2.732	5.473	8.09	10.236	11.57	12.133	12.09
35719,17	2.714	5.438	8.058	10.217	11.534	12.091	12.053
36541,35	2.696	5.405	8.027	10.197	11.497	12.049	12.016
37363,53	2.68	5.374	7.996	10.175	11.459	12.006	11.978
38185,71	2.665	5.344	7.967	10.151	11.421	11.962	11.94
39007,89	2.651	5.317	7.938	10.126	11.382	11.919	11.902
39830,07	2.637	5.291	7.911	10.099	11.343	11.875	11.863
40652,25	2.625	5.266	7.885	10.071	11.304	11.833	11.824
41474,43	2.613	5.244	7.859	10.042	11.264	11.79	11.786
42296,61	2.602	5.222	7.835	10.011	11.223	11.748	11.748
43118,79	2.592	5.202	7.811	9.979	11.182	11.705	11.71
43940,97	2.582	5.183	7.789	9.946	11.141	11.663	11.673
44763,15	2.573	5.165	7.768	9.912	11.099	11.621	11.636

Carenas inclinadas - trimado -1 m

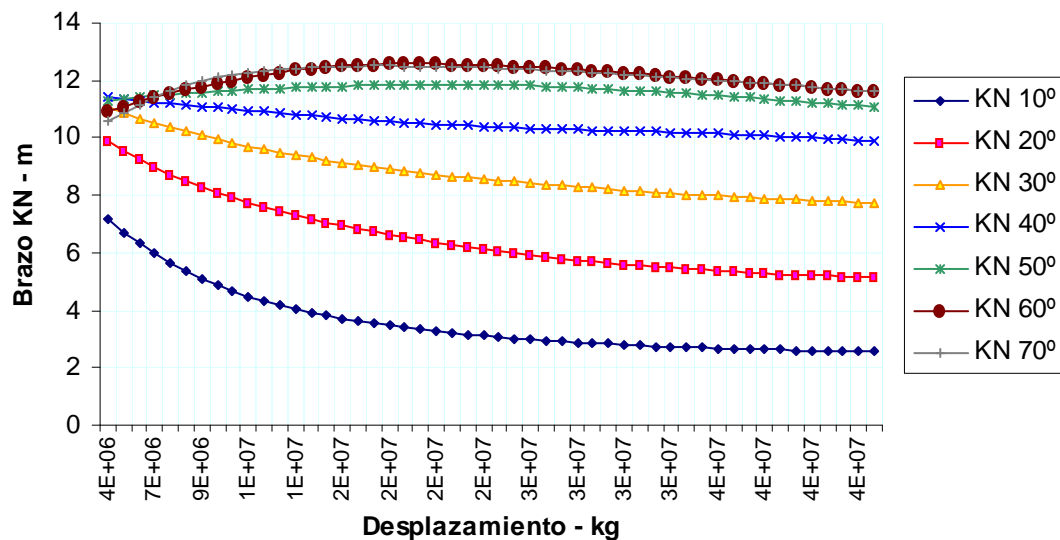


▪ **Calculo de KN (Trimado 0 m)**

Desplazamiento Tn	KN 10°	KN 20°	KN 30°	KN 40°	KN 50°	KN 60°	KN 70°
4476,316	7.147	9.909	11.042	11.396	11.293	10.928	10.582
5298,496	6.697	9.562	10.859	11.342	11.356	11.104	10.883
6120,677	6.307	9.247	10.689	11.292	11.411	11.263	11.156
6942,857	5.962	8.966	10.527	11.242	11.46	11.409	11.408
7765,037	5.652	8.714	10.371	11.195	11.505	11.544	11.641
8587,218	5.369	8.485	10.221	11.148	11.545	11.669	11.832
9409,398	5.112	8.275	10.079	11.099	11.582	11.788	11.984
10231,578	4.88	8.086	9.944	11.052	11.616	11.899	12.104
11053,759	4.672	7.911	9.818	11.004	11.647	12.005	12.201
11875,939	4.488	7.748	9.7	10.957	11.675	12.104	12.278
12698,12	4.322	7.595	9.59	10.909	11.702	12.2	12.339
13520,3	4.173	7.451	9.487	10.861	11.725	12.291	12.388
14342,48	4.038	7.316	9.39	10.814	11.747	12.367	12.426
15164,661	3.917	7.189	9.299	10.769	11.767	12.428	12.455
15986,841	3.807	7.068	9.214	10.725	11.785	12.477	12.477
16809,021	3.707	6.952	9.133	10.684	11.801	12.515	12.491
17631,202	3.615	6.842	9.056	10.644	11.816	12.543	12.5
18453,382	3.531	6.738	8.983	10.606	11.83	12.563	12.505
19275,563	3.453	6.637	8.915	10.571	11.843	12.576	12.506
20097,743	3.382	6.541	8.849	10.537	11.855	12.583	12.502
20919,923	3.317	6.449	8.787	10.505	11.865	12.584	12.496
21742,104	3.257	6.361	8.728	10.476	11.873	12.579	12.485
22564,284	3.202	6.277	8.671	10.448	11.874	12.569	12.473
23386,464	3.15	6.197	8.617	10.421	11.871	12.557	12.458
24208,645	3.101	6.121	8.565	10.397	11.864	12.54	12.442
25030,825	3.057	6.048	8.515	10.374	11.853	12.52	12.423
25853,005	3.016	5.98	8.468	10.353	11.838	12.497	12.402
26675,186	2.978	5.915	8.422	10.333	11.82	12.47	12.379
27497,366	2.942	5.854	8.377	10.314	11.799	12.441	12.354
28319,547	2.909	5.796	8.335	10.297	11.776	12.41	12.328
29141,727	2.878	5.741	8.293	10.281	11.75	12.378	12.3
29963,907	2.849	5.689	8.254	10.266	11.724	12.343	12.272
30786,088	2.822	5.641	8.215	10.252	11.695	12.306	12.241

31608,268	2.797	5.595	8.178	10.24	11.665	12.268	12.209
32430,448	2.774	5.551	8.142	10.228	11.634	12.229	12.177
33252,629	2.751	5.51	8.107	10.216	11.602	12.189	12.143
34074,809	2.731	5.472	8.074	10.203	11.568	12.149	12.108
34896,989	2.712	5.435	8.041	10.187	11.534	12.108	12.072
35719,17	2.694	5.401	8.01	10.17	11.499	12.066	12.036
36541,35	2.677	5.369	7.979	10.151	11.463	12.024	11.999
37363,531	2.661	5.339	7.95	10.131	11.426	11.982	11.961
38185,711	2.647	5.31	7.921	10.109	11.389	11.939	11.923
39007,891	2.633	5.283	7.894	10.085	11.352	11.897	11.885
39830,072	2.62	5.258	7.868	10.06	11.313	11.855	11.847
40652,252	2.608	5.235	7.842	10.034	11.275	11.813	11.809
41474,432	2.597	5.212	7.818	10.006	11.236	11.771	11.771
42296,613	2.586	5.192	7.795	9.977	11.197	11.729	11.734
43118,793	2.577	5.172	7.773	9.946	11.157	11.687	11.696
43940,974	2.567	5.154	7.752	9.915	11.117	11.645	11.66
44763,154	2.559	5.137	7.732	9.882	11.076	11.605	11.623

Carenas inclinadas - trimado 0 m

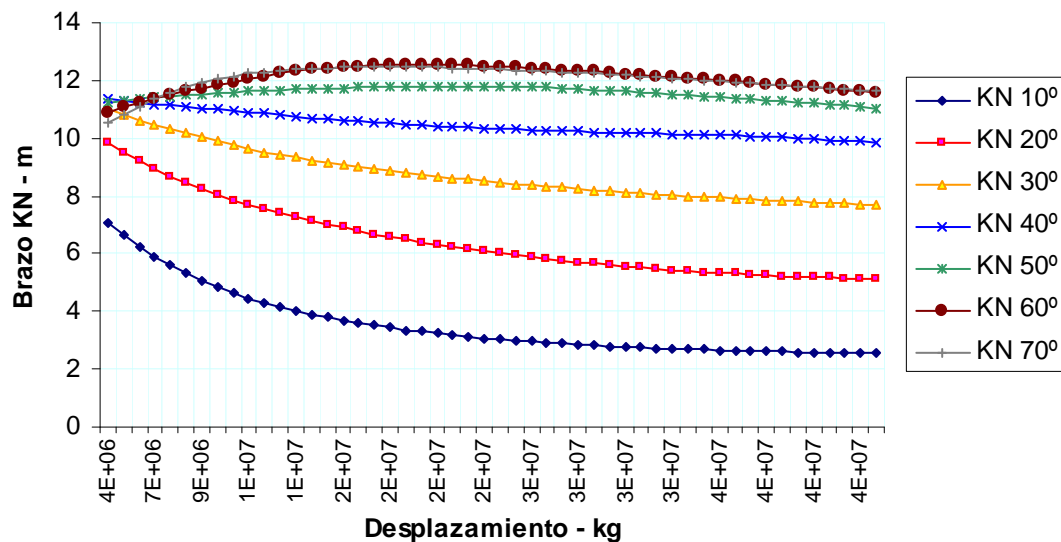


▪ **Calculo de KN (Trimado 1 m)**

Desplazamiento Tn	KN 10°	KN 20°	KN 30°	KN 40°	KN 50°	KN 60°	KN 70°
4476,316	7.076	9.834	10.993	11.356	11.254	10.886	10.535
5298,496	6.635	9.492	10.808	11.299	11.313	11.06	10.836
6120,677	6.252	9.185	10.632	11.243	11.365	11.218	11.111
6942,857	5.913	8.907	10.467	11.191	11.413	11.363	11.364
7765,037	5.608	8.655	10.308	11.14	11.455	11.497	11.592
8587,218	5.331	8.428	10.158	11.091	11.494	11.622	11.784
9409,398	5.079	8.221	10.015	11.042	11.53	11.74	11.937
10231,578	4.85	8.03	9.882	10.992	11.563	11.85	12.061
11053,759	4.643	7.853	9.757	10.944	11.593	11.955	12.158
11875,939	4.46	7.692	9.639	10.895	11.621	12.056	12.236
12698,12	4.295	7.541	9.529	10.847	11.646	12.152	12.299
13520,3	4.147	7.398	9.426	10.799	11.67	12.24	12.35
14342,48	4.014	7.263	9.33	10.752	11.691	12.315	12.388
15164,661	3.893	7.136	9.239	10.707	11.71	12.378	12.418
15986,841	3.783	7.016	9.154	10.663	11.728	12.428	12.439
16809,021	3.683	6.902	9.073	10.622	11.745	12.467	12.455
17631,202	3.591	6.793	8.998	10.583	11.759	12.496	12.465
18453,382	3.508	6.688	8.925	10.546	11.773	12.517	12.47
19275,563	3.431	6.589	8.857	10.511	11.785	12.531	12.471
20097,743	3.36	6.494	8.792	10.478	11.796	12.538	12.467
20919,923	3.294	6.403	8.73	10.447	11.806	12.539	12.461
21742,104	3.234	6.315	8.671	10.418	11.813	12.535	12.452
22564,284	3.178	6.232	8.615	10.39	11.816	12.527	12.44
23386,464	3.127	6.152	8.562	10.364	11.814	12.514	12.427
24208,645	3.079	6.077	8.51	10.34	11.807	12.498	12.41
25030,825	3.035	6.006	8.461	10.318	11.797	12.478	12.391
25853,005	2.994	5.938	8.414	10.297	11.784	12.455	12.37
26675,186	2.955	5.874	8.368	10.277	11.768	12.43	12.349
27497,366	2.92	5.814	8.325	10.259	11.748	12.402	12.325
28319,547	2.888	5.756	8.283	10.242	11.726	12.371	12.3
29141,727	2.857	5.703	8.242	10.227	11.703	12.338	12.273
29963,907	2.828	5.652	8.203	10.213	11.677	12.303	12.244
30786,088	2.801	5.604	8.166	10.199	11.649	12.268	12.215

31608,268	2.776	5.558	8.129	10.187	11.621	12.231	12.183
32430,448	2.753	5.516	8.094	10.176	11.591	12.194	12.151
33252,629	2.732	5.475	8.06	10.164	11.56	12.156	12.118
34074,809	2.712	5.437	8.028	10.151	11.528	12.117	12.084
34896,989	2.693	5.401	7.996	10.137	11.495	12.077	12.048
35719,17	2.675	5.368	7.965	10.122	11.461	12.036	12.012
36541,35	2.659	5.336	7.936	10.104	11.426	11.996	11.976
37363,531	2.644	5.307	7.907	10.085	11.391	11.956	11.939
38185,711	2.63	5.279	7.88	10.064	11.355	11.915	11.902
39007,891	2.617	5.253	7.853	10.042	11.318	11.874	11.865
39830,072	2.604	5.229	7.828	10.019	11.281	11.832	11.828
40652,252	2.593	5.206	7.803	9.994	11.244	11.791	11.791
41474,432	2.582	5.184	7.78	9.967	11.206	11.75	11.754
42296,613	2.572	5.164	7.758	9.94	11.168	11.709	11.718
43118,793	2.563	5.146	7.737	9.911	11.129	11.668	11.682
43940,974	2.554	5.128	7.717	9.881	11.091	11.627	11.646
44763,154	2.546	5.112	7.698	9.85	11.051	11.587	11.61

Carenas inclinadas - trimado 1m

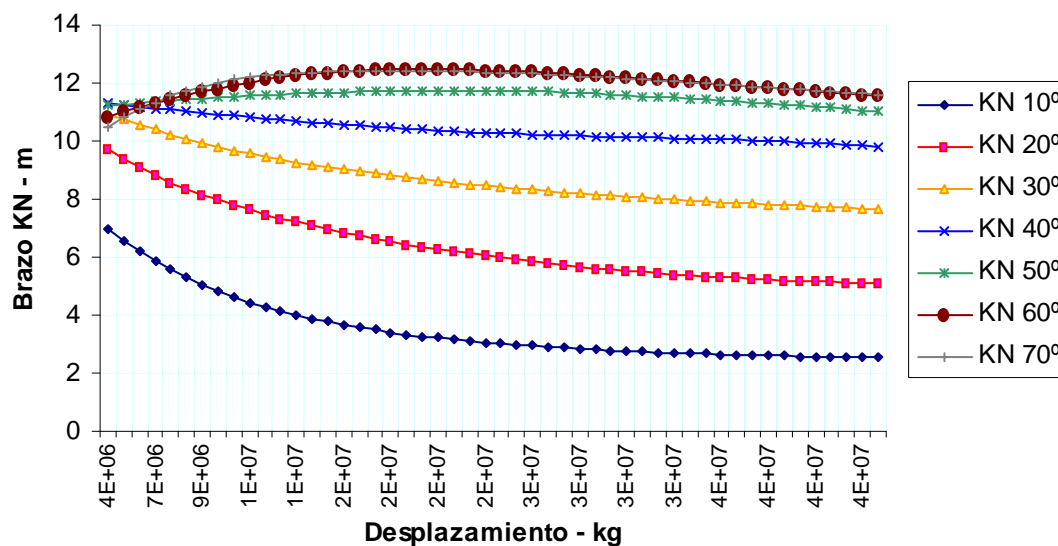


▪ **Calculo de KN (Trimado 2 m)**

Desplazamiento Tn	KN 10°	KN 20°	KN 30°	KN 40°	KN 50°	KN 60°	KN 70°
4476,316	6.953	9.707	10.928	11.314	11.22	10.855	10.514
5298,496	6.539	9.375	10.735	11.25	11.274	11.027	10.814
6120,677	6.173	9.082	10.554	11.191	11.323	11.183	11.088
6942,857	5.847	8.819	10.381	11.134	11.367	11.325	11.336
7765,037	5.552	8.578	10.222	11.08	11.408	11.459	11.554
8587,218	5.284	8.355	10.074	11.026	11.445	11.583	11.738
9409,398	5.039	8.154	9.935	10.974	11.478	11.699	11.892
10231,578	4.815	7.968	9.806	10.923	11.51	11.808	12.014
11053,759	4.613	7.795	9.683	10.871	11.538	11.914	12.113
11875,939	4.431	7.633	9.569	10.821	11.564	12.014	12.194
12698,12	4.268	7.481	9.462	10.772	11.589	12.106	12.258
13520,3	4.122	7.342	9.361	10.726	11.611	12.189	12.308
14342,48	3.989	7.21	9.266	10.681	11.632	12.262	12.346
15164,661	3.869	7.084	9.177	10.637	11.65	12.323	12.377
15986,841	3.76	6.965	9.093	10.596	11.667	12.373	12.4
16809,021	3.66	6.851	9.014	10.557	11.682	12.413	12.416
17631,202	3.569	6.743	8.938	10.519	11.696	12.443	12.427
18453,382	3.485	6.641	8.868	10.484	11.709	12.464	12.432
19275,563	3.409	6.543	8.8	10.45	11.721	12.478	12.432
20097,743	3.338	6.448	8.736	10.418	11.732	12.486	12.43
20919,923	3.274	6.358	8.676	10.389	11.741	12.488	12.424
21742,104	3.213	6.272	8.617	10.36	11.747	12.484	12.416
22564,284	3.158	6.19	8.562	10.334	11.75	12.476	12.404
23386,464	3.106	6.112	8.509	10.309	11.749	12.464	12.389
24208,645	3.058	6.037	8.458	10.286	11.744	12.447	12.373
25030,825	3.015	5.966	8.41	10.264	11.736	12.428	12.355
25853,005	2.974	5.899	8.363	10.244	11.724	12.405	12.335
26675,186	2.936	5.836	8.319	10.226	11.709	12.38	12.314
27497,366	2.901	5.777	8.276	10.208	11.692	12.352	12.29
28319,547	2.867	5.72	8.234	10.192	11.672	12.322	12.265
29141,727	2.837	5.667	8.195	10.177	11.651	12.291	12.239
29963,907	2.809	5.617	8.157	10.163	11.627	12.258	12.211
30786,088	2.783	5.57	8.12	10.151	11.601	12.225	12.181

31608,268	2.758	5.525	8.085	10.139	11.574	12.19	12.151
32430,448	2.735	5.483	8.05	10.127	11.545	12.154	12.119
33252,629	2.714	5.444	8.017	10.115	11.515	12.117	12.086
34074,809	2.694	5.406	7.985	10.102	11.485	12.079	12.052
34896,989	2.676	5.371	7.954	10.088	11.453	12.042	12.018
35719,17	2.659	5.338	7.925	10.073	11.421	12.004	11.983
36541,35	2.643	5.307	7.896	10.056	11.387	11.965	11.948
37363,531	2.628	5.278	7.868	10.038	11.353	11.926	11.913
38185,711	2.614	5.251	7.842	10.019	11.319	11.886	11.878
39007,891	2.602	5.226	7.816	9.998	11.284	11.846	11.842
39830,072	2.59	5.202	7.792	9.976	11.248	11.807	11.806
40652,252	2.579	5.18	7.768	9.952	11.212	11.767	11.771
41474,432	2.569	5.159	7.746	9.927	11.175	11.727	11.736
42296,613	2.559	5.14	7.725	9.901	11.138	11.688	11.701
43118,793	2.55	5.122	7.705	9.873	11.1	11.648	11.665
43940,974	2.542	5.105	7.686	9.845	11.062	11.608	11.631
44763,154	2.534	5.089	7.668	9.815	11.024	11.568	11.596

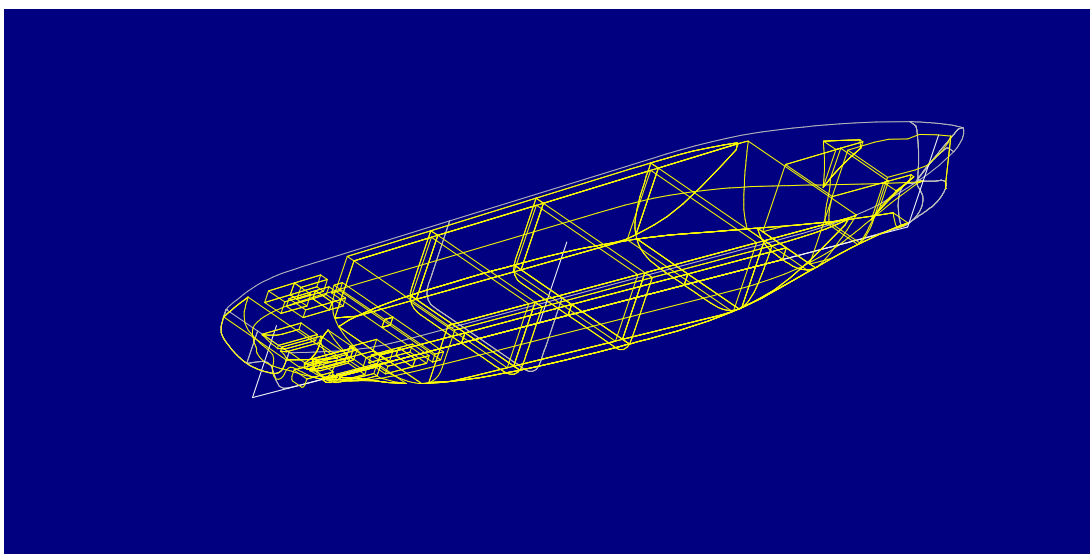
Carenas inclinadas - trimado 1m



4. TABLA DE ESPACIOS, CAPACIDADES Y CENTROS DE GRAVEDAD

Se adjunta la tabla de capacidades obtenidas de programa HIDROMAX.

Las letras “s” y ”p” indican respectivamente estribor y babor. En la tabla aparece indicado la profundidad del tanque, volumen, posición del centro de gravedad respecto a la referencia tomada en la línea base en la perpendicular de popa. LCG es la distancia longitudinal, TCG la transversal y VCG es la vertical.



	% Llenado	Capacidad - m3	Capacidad . Kg	LCG - m	TCG -m	VCG - m	FSM - kgm
Tanque de carga 1	100	11881,94	6416247,6	68,7	0	10,253	0
	98	11643,006	6287223,2	68,7	0	10,098	27056938,1
	96,8	11498,48	6209179,2	68,7	0	10,003	27056938,1
	91,9	10923,29	5898576,6	68,701	0	9,628	27056938,1
	87,1	10348,1	5587974	68,701	0	9,253	27056938,1
	82,3	9772,91	5277371,4	68,701	0	8,878	27056938,1
	77,4	9197,72	4966768,8	68,702	0	8,503	27056938,1
	72,6	8622,53	4656166,2	68,702	0	8,128	27056938,1
	67,7	8047,34	4345563,6	68,703	0	7,753	27056938,1
	62,9	7472,15	4034961	68,703	0	7,378	27056938,1
	58	6896,96	3724358,4	68,704	0	7,003	27056938,1
	53,2	6321,77	3413755,8	68,705	0	6,628	27056938,1
	48,4	5746,58	3103153,2	68,706	0	6,253	27056938,1
	43,5	5171,39	2792550,5	68,707	0	5,878	27056938,1
	38,7	4596,2	2481947,9	68,708	0	5,503	27056938,1
	33,8	4021,01	2171345,3	68,71	0	5,128	27056938,1
	29	3445,82	1860742,7	68,713	0	4,753	27056938,1
	24,2	2870,63	1550140,1	68,716	0	4,378	27056938,1

	19,3	2295,44	1239537,5	68,722	0	4,003	27056938,1
	14,5	1720,25	928934,9	68,731	0	3,628	27056938,1
	9,6	1145,06	618332,3	68,749	0	3,252	27056938,1
	4,8	570,2	307907,8	68,795	0	2,876	26845040,2
	1	118,798	64150,7	68,862	0	2,579	26082912,7
Tanque de carga 2	100	14048,58	7586233,5	100,775	0	10,25	0
	98	13766,203	7433750,1	100,775	0	10,094	31976382
	96,8	13595,4	7341516,3	100,775	0	10	31976382
	91,9	12915,63	6974440,5	100,775	0	9,625	31976382
	87,1	12235,86	6607364,6	100,775	0	9,25	31976382
	82,3	11556,09	6240288,8	100,775	0	8,875	31976382
	77,4	10876,32	5873213	100,775	0	8,5	31976382
	72,6	10196,55	5506137,2	100,775	0	8,125	31976382
	67,7	9516,78	5139061,4	100,775	0	7,75	31976382
	62,9	8837,01	4771985,6	100,775	0	7,375	31976382
	58,1	8157,24	4404909,8	100,775	0	7	31976382
	53,2	7477,47	4037833,9	100,775	0	6,625	31976382
	48,4	6797,7	3670758,1	100,775	0	6,25	31976382
	43,5	6117,93	3303682,3	100,775	0	5,875	31976382
	38,7	5438,16	2936606,5	100,775	0	5,5	31976382
	33,9	4758,39	2569530,7	100,775	0	5,125	31976382
	29	4078,62	2202454,9	100,775	0	4,75	31976382
	24,2	3398,85	1835379,1	100,775	0	4,375	31976382
	19,4	2719,08	1468303,3	100,775	0	4	31976382
	14,5	2039,31	1101227,4	100,775	0	3,625	31976382
	9,7	1359,54	734151,6	100,775	0	3,25	31976382
	4,8	679,77	367075,8	100,775	0	2,875	31976382
	1	140,486	75862,4	100,775	0	2,578	31976382
Tanque de carga 3	100	14048,536	7586209,6	135,345	0	10,25	0
	98	13766,159	7433726,2	135,345	0	10,094	31976381
	96,8	13595,356	7341492,4	135,345	0	10	31976381
	91,9	12915,586	6974416,6	135,345	0	9,625	31976381
	87,1	12235,816	6607340,8	135,345	0	9,25	31976381
	82,3	11556,046	6240265	135,345	0	8,875	31976381
	77,4	10876,276	5873189,2	135,345	0	8,5	31976381
	72,6	10196,506	5506113,4	135,345	0	8,125	31976381
	67,7	9516,736	5139037,6	135,345	0	7,75	31976381
	62,9	8836,966	4771961,8	135,345	0	7,375	31976381
	58,1	8157,196	4404886	135,345	0	7	31976381
	53,2	7477,426	4037810,2	135,345	0	6,625	31976381
	48,4	6797,656	3670734,4	135,345	0	6,25	31976381
	43,5	6117,886	3303658,6	135,345	0	5,875	31976381
	38,7	5438,116	2936582,8	135,345	0	5,5	31976381
	33,9	4758,346	2569507	135,345	0	5,125	31976381
	29	4078,576	2202431,2	135,345	0	4,75	31976381
	24,2	3398,806	1835355,4	135,345	0	4,375	31976381
	19,4	2719,036	1468279,5	135,345	0	4	31976381

Tanque de carga 4	14,5	2039,266	1101203,7	135,345	0	3,625	31976381
	9,7	1359,496	734127,9	135,345	0	3,25	31976381
	4,8	679,726	367052,1	135,344	0	2,875	31976381
	1	140,445	75840,5	135,341	0	2,578	31970179,1
	100	10263,548	5542316,3	165,823	0	10,479	0
	98	10057,25	5430915,1	165,816	0	10,328	24554763,5
	96,6	9915,137	5354174,4	165,811	0	10,224	24542161,5
	91,5	9392,842	5072134,7	165,791	0	9,84	24469674,4
	86,4	8871,268	4790485,1	165,77	0	9,456	24360770
	81,4	8350,513	4509277,1	165,747	0	9,071	24251387,8
	76,3	7830,692	4228573,7	165,723	0	8,686	24092828,7
	71,2	7312,319	3948652,2	165,697	0	8,3	23891718,9
	66,2	6795,517	3669579,1	165,669	0	7,914	23689888
	61,2	6280,33	3391378,5	165,64	0	7,528	23486054,9
	56,2	5767,149	3114260,7	165,609	0	7,141	23175141
	51,2	5256,661	2838597	165,576	0	6,754	22833439,8
	46,3	4749,033	2564477,8	165,541	0	6,367	22490026,9
	41,4	4244,323	2291934,7	165,504	0	5,979	22144986,7
	36,5	3743,149	2021300,8	165,464	0	5,592	21664949,1
	31,6	3246,221	1752959,5	165,421	0	5,204	21160266,9
	26,8	2753,962	1487139,6	165,376	0	4,815	20620232,5
	22,1	2267,329	1224357,7	165,327	0	4,427	19898797,5
	17,4	1788,038	965540,7	165,274	0	4,038	19046211,6
	12,8	1317,735	711576,8	165,221	0	3,65	17950945,7
	8,4	859,809	464297	165,169	0	3,263	16531645,7
	4,1	418,566	226025,6	165,127	0	2,879	14619832,5
	1	102,092	55129,8	165,097	0	2,594	12871827,1
Tanque lastre 1 s	100	858,543	880177,9	62,645	14,97	10,698	0
	98	841,286	862486,4	62,654	14,97	10,551	20223,778
	96,6	828,953	849842,2	62,66	14,969	10,446	20223,778
	91,4	784,568	804338,8	62,686	14,968	10,068	20223,664
	86,2	740,183	758835,4	62,715	14,966	9,69	20223,511
	81	695,798	713332,2	62,747	14,963	9,311	20223,321
	75,9	651,414	667829,1	62,784	14,961	8,932	20223,125
	70,7	607,029	622326,2	62,826	14,958	8,552	20222,919
	65,5	562,645	576823,4	62,875	14,955	8,172	20222,708
	60,4	518,261	531320,8	62,933	14,951	7,791	20222,495
	55,2	473,877	485818,3	63,001	14,946	7,408	20222,283
	50	429,493	440316,1	63,083	14,941	7,024	20221,92
	44,9	385,109	394814,1	63,184	14,934	6,638	20221,568
	39,7	340,728	349313,9	63,311	14,925	6,249	20212,38
	34,5	296,36	303828,7	63,476	14,914	5,855	20181,236
	29,4	252,068	258420	63,695	14,9	5,456	20016,119
	24,2	207,962	213202,4	63,994	14,88	5,049	19565,631
	19,2	164,555	168701,8	64,403	14,853	4,634	18516,216
	14,3	122,563	125651,6	64,963	14,819	4,207	16761,684
	9,7	83,3	85399,4	65,738	14,78	3,772	14406,752

	5,6	48,426	49646,6	66,807	14,736	3,33	11431,055
	2,4	20,32	20832,3	68,064	14,692	2,9	7755,155
	1	8,554	8769,3	68,679	14,661	2,682	5718,976
Tanque lastre 1p	100	858,548	880183,8	62,645	-14,97	10,698	0
	98	841,292	862492,2	62,654	-14,97	10,551	20223,778
	96,6	828,958	849848,1	62,66	-14,969	10,446	20223,778
	91,4	784,573	804344,6	62,686	-14,968	10,068	20223,76
	86,2	740,188	758841,2	62,715	-14,966	9,69	20223,691
	81	695,804	713337,8	62,747	-14,963	9,311	20223,584
	75,9	651,419	667834,5	62,784	-14,961	8,932	20223,448
	70,7	607,034	622331,3	62,826	-14,958	8,552	20223,294
	65,5	562,649	576828,2	62,875	-14,955	8,172	20223,139
	60,4	518,265	531325,2	62,933	-14,951	7,791	20222,976
	55,2	473,881	485822,4	63,001	-14,946	7,408	20222,812
	50	429,496	440319,7	63,083	-14,941	7,024	20222,65
	44,9	385,112	394817,1	63,184	-14,934	6,638	20222,49
	39,7	340,73	349316,2	63,311	-14,925	6,249	20213,438
	34,5	296,362	303830,1	63,476	-14,914	5,855	20182,354
	29,4	252,069	258420,7	63,695	-14,9	5,456	20016,893
	24,2	207,962	213202,7	63,994	-14,88	5,049	19566,064
	19,2	164,555	168701,9	64,403	-14,853	4,634	18516,382
	14,3	122,563	125651,6	64,963	-14,819	4,207	16761,725
	9,7	83,3	85399,4	65,738	-14,78	3,772	14406,752
	5,6	48,426	49646,6	66,807	-14,736	3,33	11431,055
	2,4	20,32	20832,3	68,064	-14,692	2,9	7755,155
	1	8,554	8769,4	68,679	-14,661	2,682	5718,988
Tanque lastre 2s	100	1070,48	1097456,4	94,293	14,999	10,258	0
	98	1048,94	1075373	94,293	14,999	10,102	23627,441
	96,8	1035,91	1062015,2	94,293	14,999	10,008	23627,441
	91,9	984,055	1008853,5	94,293	14,999	9,633	23627,441
	87,1	932,2	955691,7	94,294	14,999	9,258	23627,441
	82,2	880,345	902530	94,294	14,999	8,883	23627,441
	77,4	828,49	849368,2	94,295	14,999	8,508	23627,441
	72,6	776,635	796206,5	94,295	14,999	8,133	23627,401
	67,7	724,78	743044,8	94,296	14,998	7,758	23627,348
	62,9	672,925	689883,2	94,297	14,998	7,383	23627,28
	58	621,071	636721,6	94,298	14,998	7,008	23627,207
	53,2	569,216	583560	94,299	14,998	6,632	23627,143
	48,3	517,361	530398,5	94,3	14,998	6,257	23627,075
	43,5	465,506	477237,1	94,302	14,998	5,882	23627,003
	38,6	413,652	424075,7	94,304	14,997	5,507	23626,935
	33,8	361,797	370914,4	94,306	14,997	5,132	23626,867
	29	309,942	317753	94,31	14,996	4,757	23626,973
	24,1	258,089	264592,3	94,315	14,996	4,381	23624,979
	19,3	206,237	211433,9	94,322	14,995	4,006	23617,467
	14,4	154,395	158285,4	94,333	14,993	3,63	23603,306
	9,6	102,583	105168,4	94,354	14,989	3,253	23527,659

	4,8	50,984	52268,3	94,39	14,984	2,876	22981,042
	1	10,699	10968,7	94,462	14,974	2,58	22288,302
Tanque lastre 2p	100	1070,48	1097456,4	94,293	-14,999	10,258	0
	98	1048,94	1075373	94,293	-14,999	10,102	23627,441
	96,8	1035,91	1062015,3	94,293	-14,999	10,008	23627,441
	91,9	984,055	1008853,5	94,293	-14,999	9,633	23627,441
	87,1	932,2	955691,8	94,294	-14,999	9,258	23627,441
	82,2	880,345	902530	94,294	-14,999	8,883	23627,441
	77,4	828,49	849368,3	94,295	-14,999	8,508	23627,441
	72,6	776,635	796206,6	94,295	-14,999	8,133	23627,413
	67,7	724,78	743044,9	94,296	-14,998	7,758	23627,367
	62,9	672,926	689883,2	94,297	-14,998	7,383	23627,291
	58	621,071	636721,6	94,298	-14,998	7,008	23627,223
	53,2	569,216	583560	94,299	-14,998	6,632	23627,15
	48,3	517,361	530398,5	94,3	-14,998	6,257	23627,082
	43,5	465,506	477237,1	94,302	-14,998	5,882	23627,011
	38,6	413,652	424075,7	94,304	-14,997	5,507	23626,938
	33,8	361,797	370914,4	94,306	-14,997	5,132	23626,87
	29	309,942	317753	94,31	-14,996	4,757	23626,973
	24,1	258,089	264592,3	94,315	-14,996	4,381	23624,979
	19,3	206,237	211433,9	94,322	-14,995	4,006	23617,467
	14,4	154,395	158285,4	94,333	-14,993	3,63	23603,306
	9,6	102,583	105168,4	94,354	-14,989	3,253	23527,659
	4,8	50,984	52268,3	94,39	-14,984	2,876	22981,042
	1	10,699	10968,7	94,462	-14,974	2,58	22288,302
Tanque lastre 3s	100	1012,131	1037636,5	128,269	14,966	10,584	0
	98	991,787	1016780	128,257	14,965	10,435	23584,485
	96,6	977,582	1002216,8	128,249	14,965	10,331	23582,164
	91,5	925,764	949093,1	128,215	14,963	9,951	23571,684
	86,3	873,955	895978,2	128,178	14,961	9,57	23560,893
	81,2	822,149	842866,9	128,136	14,958	9,188	23561,718
	76,1	770,349	789762	128,089	14,956	8,806	23533,388
	71	718,584	736692,4	128,036	14,953	8,423	23473,616
	65,9	666,892	683697,9	127,976	14,949	8,039	23351,136
	60,8	615,293	630798,6	127,908	14,945	7,654	23240,985
	55,7	563,779	577986,4	127,83	14,941	7,269	23132,797
	50,6	512,371	525282,7	127,739	14,936	6,882	22993,737
	45,6	461,095	472714,1	127,632	14,93	6,493	22818,014
	40,5	409,991	420322,7	127,504	14,923	6,103	22624,964
	35,5	359,078	368126,9	127,349	14,914	5,71	22435,425
	30,5	308,446	316218,4	127,156	14,904	5,314	22002,067
	25,5	258,469	264982,2	126,923	14,891	4,915	21301,694
	20,7	209,395	214672,2	126,637	14,877	4,514	20487,13
	16	161,489	165558,4	126,276	14,859	4,109	19600,715
	11,4	115,389	118296,9	125,809	14,837	3,702	18106,557
	7,1	71,997	73811,8	125,187	14,811	3,294	16304,475
	3,2	32,847	33675,2	124,331	14,783	2,889	13371,288

	1	10,121	10376,2	123,659	14,759	2,627	10845,768
Tanque lastre 3p	100	1012,133	1037638,7	128,269	-14,966	10,584	0
	98	991,789	1016782,2	128,257	-14,965	10,435	23584,216
	96,6	977,584	1002219,1	128,249	-14,965	10,331	23581,994
	91,5	925,766	949095,5	128,215	-14,963	9,951	23571,632
	86,3	873,957	895980,7	128,178	-14,961	9,57	23560,745
	81,2	822,151	842869,4	128,136	-14,958	9,188	23561,718
	76,1	770,352	789764,5	128,089	-14,956	8,806	23533,388
	71	718,586	736694,8	128,036	-14,953	8,423	23473,8
	65,9	666,894	683700,1	127,976	-14,949	8,039	23351,459
	60,8	615,295	630800,5	127,908	-14,945	7,655	23241,457
	55,7	563,781	577987,9	127,83	-14,941	7,269	23133,413
	50,6	512,372	525283,7	127,739	-14,936	6,882	22994,499
	45,6	461,095	472714,5	127,632	-14,93	6,493	22818,795
	40,5	409,991	420322,7	127,504	-14,923	6,103	22625,173
	35,5	359,078	368126,9	127,349	-14,914	5,71	22435,425
	30,5	308,446	316218,4	127,156	-14,904	5,314	22002,067
	25,5	258,469	264982,2	126,923	-14,891	4,915	21301,694
	20,7	209,395	214672,2	126,637	-14,877	4,514	20487,13
	16	161,489	165558,4	126,276	-14,859	4,109	19600,715
	11,4	115,389	118296,9	125,809	-14,837	3,702	18106,557
	7,1	71,997	73811,8	125,187	-14,811	3,294	16304,475
	3,2	32,847	33675,2	124,331	-14,783	2,889	13371,288
	1	10,121	10376,2	123,659	-14,759	2,627	10845,769
Tanque lastre 4s	100	253,837	260233,3	153,074	14,723	13,027	0
	98	248,71	254977,5	153,029	14,721	12,926	9067,448
	92,3	234,181	240082,4	152,901	14,715	12,635	8741,355
	83,2	211,124	216443,9	152,69	14,705	12,156	8199,348
	74,5	189,091	193855,8	152,475	14,695	11,677	7817,722
	66,2	167,996	172229,8	152,252	14,683	11,195	7428,458
	58,3	147,937	151665,2	152,024	14,67	10,711	6887,009
	50,8	129,067	132319,5	151,8	14,655	10,228	6159,743
	43,9	111,392	114199	151,576	14,638	9,746	5622,52
	37,3	94,762	97150,4	151,332	14,62	9,259	5126,993
	31,2	79,278	81275,5	151,072	14,601	8,77	4556,814
	25,6	65,087	66727,3	150,809	14,578	8,279	3903,267
	20,4	51,874	53181,4	150,487	14,554	7,782	3270,25
	15,9	40,454	41473,8	150,234	14,524	7,292	2779,695
	11,9	30,214	30975,5	149,939	14,489	6,791	2244,87
	8,4	21,437	21977,2	149,619	14,449	6,286	1578,211
	5,6	14,235	14593,5	149,31	14,402	5,786	1043,749
	3,3	8,418	8630,1	148,889	14,352	5,272	651,651
	1,7	4,194	4300,1	148,403	14,293	4,752	296,701
	1	2,534	2597,4	148,159	14,252	4,467	177,445
	0,6	1,503	1540,5	147,859	14,221	4,23	107,138
	0,1	0,235	240,4	147,182	14,121	3,682	11,646
Tanque	100	253,837	260233,9	153,074	-14,723	13,027	0

	98	248,711	254978,1	153,029	-14,721	12,926	9067,448
	92,3	234,182	240083	152,901	-14,715	12,635	8741,358
	83,2	211,124	216444,4	152,69	-14,705	12,156	8199,727
	74,5	189,091	193855,9	152,475	-14,695	11,677	7818,017
	66,2	167,996	172229,8	152,252	-14,683	11,195	7428,458
	58,3	147,937	151665,2	152,024	-14,67	10,711	6887,009
	50,8	129,067	132319,5	151,8	-14,655	10,228	6159,743
	43,9	111,392	114199	151,576	-14,638	9,746	5622,52
	37,3	94,762	97150,4	151,332	-14,62	9,259	5126,993
	31,2	79,278	81275,5	151,072	-14,601	8,77	4556,814
	25,6	65,087	66727,3	150,809	-14,578	8,279	3903,267
	20,4	51,874	53181,4	150,487	-14,554	7,782	3270,25
	15,9	40,454	41473,8	150,234	-14,524	7,292	2779,695
	11,9	30,214	30975,5	149,939	-14,489	6,791	2244,87
	8,4	21,437	21977,2	149,619	-14,449	6,286	1578,211
	5,6	14,235	14593,5	149,31	-14,402	5,786	1043,749
	3,3	8,418	8630,1	148,889	-14,352	5,272	651,651
	1,7	4,194	4300,1	148,403	-14,293	4,752	296,701
	1	2,534	2597,4	148,159	-14,252	4,467	177,445
	0,6	1,503	1540,5	147,859	-14,221	4,23	107,138
	0,1	0,235	240,4	147,182	-14,121	3,682	11,646
Tanque lastre fondo 1s	100	912,328	935318,3	63,307	6,478	1,359	0
	98	893,986	916514,5	63,318	6,461	1,336	7869631,32
	96,3	878,47	900607,8	63,328	6,447	1,317	7823644,69
	91,6	835,867	856930,5	63,356	6,407	1,263	7698317,79
	87	793,533	813530,3	63,385	6,365	1,209	7567312,61
	82,4	751,495	770432,2	63,416	6,322	1,155	7429499,09
	77,8	709,757	727642,9	63,448	6,276	1,101	7290943,03
	73,3	668,341	685183,2	63,482	6,228	1,047	7140106,42
	68,8	627,28	643087,3	63,518	6,178	0,994	6979775,02
	64,3	586,591	601373	63,556	6,126	0,94	6816701,55
	59,9	546,289	560055,5	63,596	6,07	0,886	6646871,32
	55,5	506,41	519171,1	63,64	6,012	0,832	6470873,63
	51,2	466,973	478740,2	63,686	5,951	0,778	6293932,89
	46,9	428,007	438792,4	63,736	5,885	0,724	6103822,42
	42,7	389,55	399366,3	63,789	5,815	0,67	5910617,4
	38,5	351,636	360497,4	63,846	5,74	0,616	5699946,57
	34,5	314,324	322245,4	63,909	5,659	0,562	5477791,89
	30,4	277,673	284670,3	63,977	5,572	0,507	5243674,95
	26,5	241,719	247810,6	64,053	5,476	0,453	4999363,57
	22,6	206,574	211779,6	64,139	5,37	0,399	4730543,39
	18,9	172,297	176638,8	64,234	5,251	0,345	4465138,84
	15,2	139,011	142514,4	64,345	5,113	0,291	4150848,64
	11,7	106,914	109608,3	64,471	4,951	0,237	3814917,43
	8,4	76,222	78142,6	64,624	4,748	0,183	3403888,01
	5,2	47,342	48534,7	64,814	4,478	0,129	2938040,31
	2,3	21,004	21533,2	65,064	4,048	0,075	2223815,05

	1	9,12	9349,7	65,249	3,653	0,047	1658120,84
Tanque lastre fondo 1p	100	912,329	935319,3	63,307	-6,478	1,359	0
	98	893,987	916515,5	63,318	-6,461	1,336	7869631,32
	96,3	878,471	900608,8	63,328	-6,447	1,317	7823644,69
	91,6	835,868	856931,5	63,356	-6,407	1,263	7698317,79
	87	793,534	813531,3	63,385	-6,365	1,209	7567312,61
	82,4	751,496	770433,2	63,416	-6,322	1,155	7429499,09
	77,8	709,758	727643,9	63,448	-6,276	1,101	7290943,03
	73,3	668,342	685184,2	63,482	-6,228	1,047	7140106,42
	68,8	627,281	643088,3	63,518	-6,178	0,994	6979775,02
	64,3	586,592	601374	63,556	-6,126	0,94	6816701,55
	59,9	546,29	560056,5	63,596	-6,07	0,886	6646871,32
	55,5	506,411	519172,1	63,64	-6,012	0,832	6470873,63
	51,2	466,974	478741,2	63,686	-5,951	0,778	6293932,89
	46,9	428,008	438793,4	63,736	-5,885	0,724	6103822,42
	42,7	389,551	399367,3	63,789	-5,815	0,67	5910617,4
	38,5	351,637	360498,4	63,846	-5,74	0,616	5699946,57
	34,5	314,325	322246,4	63,909	-5,659	0,562	5477791,89
	30,4	277,674	284671,4	63,977	-5,572	0,507	5243674,95
	26,5	241,72	247811,6	64,053	-5,476	0,453	4999363,57
	22,6	206,575	211780,6	64,139	-5,37	0,399	4730543,39
	18,9	172,298	176639,8	64,234	-5,251	0,345	4465138,84
	15,2	139,012	142515,4	64,345	-5,113	0,291	4150848,64
	11,7	106,915	109609,3	64,471	-4,95	0,237	3814917,43
	8,4	76,223	78143,6	64,624	-4,748	0,183	3403888,01
	5,2	47,343	48535,7	64,814	-4,478	0,129	2938040,31
	2,3	21,005	21534,2	65,065	-4,048	0,075	2223815,05
	1	9,12	9349,8	65,251	-3,653	0,047	1658058,61
Tanque lastre fondo 2s	100	1308,239	1341207	94,365	7,65	1,288	0
	98	1281,943	1314248,1	94,366	7,643	1,264	11910260,2
	96	1255,598	1287238,8	94,368	7,637	1,239	11882641,3
	91,8	1200,662	1230918,8	94,37	7,623	1,188	11825130,3
	87,6	1145,815	1174689,9	94,373	7,608	1,137	11767819,4
	83,4	1091,058	1118552,7	94,375	7,592	1,086	11710710,1
	79,2	1036,39	1062507	94,378	7,576	1,035	11653800,2
	75	981,811	1006552,7	94,382	7,558	0,984	11597089,7
	70,9	927,321	950689,9	94,385	7,539	0,933	11540368,6
	66,7	872,925	894922,4	94,388	7,518	0,882	11478636,4
	62,6	818,633	839262,2	94,392	7,496	0,831	11411266,2
	58,4	764,458	783722,8	94,395	7,472	0,779	11327242,3
	54,3	710,451	728354,1	94,399	7,446	0,728	11198290,8
	50,2	656,692	673240,2	94,402	7,419	0,677	11032243,4
	46,1	603,2	618400,5	94,406	7,391	0,625	10867847,3
	42	549,977	563836	94,411	7,361	0,574	10705097,9
	38	497,021	509545,7	94,416	7,329	0,523	10543983,1
	34	444,334	455531	94,422	7,294	0,472	10382059,8
	30	391,928	401804,2	94,43	7,256	0,421	10212638,5

	26	339,822	348385,8	94,437	7,213	0,37	10036925,8
	22	288,04	295299	94,445	7,163	0,318	9835238,38
	18,1	236,685	242649	94,453	7,105	0,267	9541801,63
	14,2	185,956	190642,2	94,465	7,041	0,216	9161792,74
	10,4	135,926	139351	94,486	6,968	0,165	8777600,2
	6,6	86,656	88839,7	94,52	6,876	0,114	8367183,77
	2,9	38,253	39217,4	94,584	6,711	0,064	7850214,86
	1	13,056	13384,9	94,653	6,503	0,036	6995473,08
Tanque lastre fondo 2p	100	1308,243	1341210,6	94,365	-7,65	1,288	0
	98	1281,947	1314251,7	94,366	-7,643	1,264	11910260,2
	96	1255,601	1287242,4	94,368	-7,637	1,239	11882641,3
	91,8	1200,666	1230922,4	94,37	-7,623	1,188	11825130,3
	87,6	1145,819	1174693,5	94,373	-7,608	1,137	11767819,4
	83,4	1091,062	1118556,3	94,375	-7,592	1,086	11710710,1
	79,2	1036,394	1062510,6	94,378	-7,576	1,035	11653800,2
	75	981,815	1006556,3	94,381	-7,558	0,984	11597089,7
	70,9	927,325	950693,5	94,385	-7,539	0,933	11540368,6
	66,7	872,928	894926	94,388	-7,518	0,882	11478636,4
	62,6	818,636	839265,9	94,392	-7,496	0,831	11411266,2
	58,4	764,462	783726,4	94,395	-7,472	0,779	11327242,3
	54,3	710,454	728357,7	94,399	-7,446	0,728	11198290,8
	50,2	656,695	673243,8	94,402	-7,419	0,677	11032243,4
	46,1	603,203	618404,1	94,406	-7,391	0,625	10867847,3
	42	549,98	563839,7	94,411	-7,361	0,574	10705097,9
	38	497,024	509549,3	94,416	-7,329	0,523	10543983,1
	34	444,337	455534,6	94,422	-7,294	0,472	10382059,8
	30	391,931	401807,8	94,43	-7,256	0,421	10212638,5
	26	339,826	348389,4	94,437	-7,213	0,37	10036925,8
	22	288,044	295302,6	94,445	-7,163	0,318	9835238,38
	18,1	236,688	242652,6	94,453	-7,105	0,267	9541801,63
	14,2	185,96	190645,9	94,465	-7,041	0,216	9161792,74
	10,4	135,929	139354,6	94,486	-6,968	0,165	8777600,2
	6,6	86,659	88843,3	94,52	-6,876	0,114	8367183,77
	2,9	38,257	39221	94,583	-6,711	0,064	7850214,86
	1	13,056	13384,9	94,651	-6,503	0,036	6995233,69
Tanque lastre fondo 3s	100	1185,685	1215563,7	128,104	7,009	1,313	0
	98	1161,85	1191129	128,098	6,998	1,29	10217108,3
	96,5	1144,393	1173231,5	128,093	6,99	1,272	10182974,6
	92,1	1092,494	1120024,8	128,079	6,964	1,22	10080804,9
	87,8	1040,788	1067015,8	128,064	6,938	1,168	9973821,66
	83,4	989,293	1014223,2	128,048	6,91	1,115	9861467,37
	79,1	938,012	961650,3	128,032	6,881	1,063	9750422,64
	74,8	886,958	909309,4	128,016	6,851	1,011	9625906,34
	70,5	836,148	857218,7	127,998	6,819	0,959	9501402,05
	66,3	785,59	805387,3	127,98	6,786	0,906	9366637,35
	62	735,31	753839,3	127,961	6,751	0,854	9217051,3
	57,8	685,337	702607,7	127,941	6,714	0,802	9054107,19

	53,6	635,694	651713,6	127,919	6,675	0,75	8887078,69
	49,5	586,397	601173,7	127,896	6,634	0,697	8711977,35
	45,3	537,464	551007,9	127,871	6,59	0,645	8532323,14
	41,2	488,914	501235,1	127,844	6,543	0,593	8348996,81
	37,2	440,775	451882	127,814	6,493	0,541	8154898,5
	33,2	393,08	402985,8	127,783	6,438	0,489	7942262,53
	29,2	345,886	354602,3	127,748	6,379	0,437	7719024,93
	25,2	299,222	306762,6	127,71	6,313	0,384	7469229,89
	21,4	253,192	259572,4	127,666	6,239	0,332	7178237,52
	17,5	207,858	213095,9	127,613	6,156	0,28	6878604,23
	13,8	163,329	167444,9	127,548	6,06	0,228	6535989,33
	10,1	119,717	122734	127,466	5,941	0,177	6159529,16
	6,5	77,289	79236,9	127,355	5,783	0,125	5682079,58
	3,1	36,566	37488	127,177	5,537	0,073	4962641,93
	1	11,804	12101,5	126,929	5,224	0,04	4195827,45
Tanque lastre fondo 3p	100	1185,68	1215558,8	128,104	-7,009	1,313	0
	98	1161,846	1191124,3	128,098	-6,998	1,29	10217108,7
	96,5	1144,388	1173226,6	128,093	-6,99	1,272	10182974,6
	92,1	1092,489	1120019,9	128,079	-6,964	1,22	10080804,9
	87,8	1040,783	1067010,9	128,064	-6,938	1,168	9973821,66
	83,4	989,288	1014218,3	128,048	-6,91	1,115	9861467,37
	79,1	938,008	961645,4	128,032	-6,881	1,063	9750422,64
	74,8	886,953	909304,5	128,016	-6,851	1,011	9625906,34
	70,5	836,143	857213,8	127,998	-6,819	0,959	9501402,05
	66,3	785,586	805382,4	127,98	-6,786	0,906	9366637,35
	62	735,305	753834,4	127,961	-6,751	0,854	9217051,3
	57,8	685,332	702602,8	127,941	-6,714	0,802	9054107,19
	53,6	635,689	651708,7	127,919	-6,675	0,75	8887078,69
	49,5	586,392	601168,8	127,896	-6,634	0,697	8711977,35
	45,3	537,459	551003	127,871	-6,59	0,645	8532323,14
	41,2	488,91	501230,2	127,844	-6,543	0,593	8348996,81
	37,2	440,77	451877,1	127,814	-6,493	0,541	8154898,5
	33,2	393,075	402980,9	127,783	-6,439	0,489	7942262,53
	29,2	345,881	354597,3	127,748	-6,379	0,437	7719024,93
	25,2	299,217	306757,7	127,71	-6,313	0,384	7469229,89
	21,4	253,187	259567,5	127,666	-6,24	0,332	7178237,52
	17,5	207,853	213091	127,613	-6,157	0,28	6878604,23
	13,8	163,324	167440	127,548	-6,06	0,228	6535989,33
	10,1	119,712	122729	127,466	-5,941	0,177	6159529,16
	6,5	77,284	79232	127,355	-5,783	0,125	5682079,58
	3,1	36,562	37483,1	127,177	-5,537	0,073	4962641,93
	1	11,804	12101,6	126,928	-5,225	0,04	4196102,94
Tanque lastre fondo 4s	100	576,27	590791,9	158,101	4,633	1,389	0
	98	564,681	578911,4	158,096	4,616	1,367	3198897,08
	96,1	553,707	567660,4	158,091	4,6	1,346	3165639,5
	91,2	525,37	538609,6	158,078	4,557	1,291	3080311,17
	86,3	497,32	509852,7	158,064	4,513	1,235	2996431,34

	81,5	469,568	481401	158,049	4,468	1,18	2908341
	76,7	442,129	453270,6	158,034	4,421	1,125	2818666,72
	72	415,014	425472,6	158,018	4,372	1,069	2729188,51
	67,4	388,236	398019,5	158,001	4,321	1,014	2636073,73
	62,8	361,816	370933,6	157,983	4,268	0,959	2538584,15
	58,3	335,765	344226,4	157,964	4,212	0,903	2440745,68
	53,8	310,101	317915,7	157,944	4,155	0,848	2341794,94
	49,4	284,846	292023,7	157,922	4,094	0,793	2238866,33
	45,1	260,014	266566,7	157,899	4,031	0,738	2137482,78
	40,9	235,637	241575,2	157,873	3,964	0,682	2029316,86
	36,7	211,736	217071,6	157,845	3,893	0,627	1919146,27
	32,7	188,343	193089	157,814	3,817	0,572	1806666,13
	28,7	165,495	169665,6	157,779	3,737	0,517	1693262,65
	24,9	143,229	146837,9	157,74	3,649	0,462	1575327,95
	21,1	121,597	124661,2	157,696	3,554	0,407	1452555,79
	17,5	100,666	103203,2	157,644	3,449	0,352	1323869,75
	14	80,518	82546,7	157,583	3,33	0,297	1191716,49
	10,6	61,265	62808,6	157,51	3,195	0,242	1047171,63
	7,5	43,068	44153,5	157,413	3,034	0,187	888572,496
	4,5	26,165	26824,1	157,274	2,834	0,133	710193,149
	1,9	10,989	11265,8	156,974	2,56	0,079	495991,664
	1	5,76	5905,3	156,645	2,414	0,058	391711,897
Tanque lastre fondo 4p	100	576,27	590791,9	158,101	-4,633	1,389	0
	98	564,681	578911,4	158,096	-4,616	1,367	3198897,08
	96,1	553,707	567660,4	158,091	-4,6	1,346	3165639,5
	91,2	525,37	538609,6	158,078	-4,557	1,291	3080311,17
	86,3	497,32	509852,7	158,064	-4,513	1,235	2996431,34
	81,5	469,568	481401	158,049	-4,468	1,18	2908341
	76,7	442,129	453270,6	158,034	-4,421	1,125	2818666,72
	72	415,014	425472,5	158,018	-4,372	1,069	2729188,51
	67,4	388,236	398019,5	158,001	-4,321	1,014	2636073,73
	62,8	361,816	370933,6	157,983	-4,268	0,959	2538584,15
	58,3	335,765	344226,4	157,964	-4,212	0,903	2440745,68
	53,8	310,101	317915,7	157,944	-4,155	0,848	2341794,94
	49,4	284,846	292023,7	157,922	-4,094	0,793	2238866,33
	45,1	260,014	266566,7	157,899	-4,031	0,738	2137482,78
	40,9	235,637	241575,2	157,873	-3,964	0,682	2029316,86
	36,7	211,736	217071,6	157,845	-3,893	0,627	1919146,27
	32,7	188,343	193089	157,814	-3,817	0,572	1806666,13
	28,7	165,495	169665,6	157,779	-3,737	0,517	1693262,65
	24,9	143,229	146837,9	157,74	-3,649	0,462	1575327,95
	21,1	121,597	124661,2	157,696	-3,554	0,407	1452555,79
	17,5	100,666	103203,2	157,644	-3,449	0,352	1323869,75
	14	80,518	82546,6	157,583	-3,33	0,297	1191716,49
	10,6	61,265	62808,6	157,51	-3,195	0,242	1047171,63
	7,5	43,068	44153,5	157,413	-3,034	0,187	888572,496
	4,5	26,165	26824,1	157,274	-2,834	0,133	710193,149

	1,9	10,989	11265,7	156,974	-2,56	0,079	495991,664
	1	5,76	5905,3	156,646	-2,414	0,058	391711,897
Tanque Fondo Proa	100	440,623	451726,6	184,043	0	1,468	0
	98	431,758	442638	184,033	0	1,447	2205024,25
	95,6	421,37	431988,3	184,02	0	1,423	2167321,36
	90,1	397,164	407172,2	183,988	0	1,365	2077883,89
	84,7	373,334	382741,7	183,955	0	1,307	1988866,94
	79,4	349,893	358710,6	183,919	0	1,249	1898209,39
	74,2	326,862	335098,9	183,88	0	1,191	1806647,81
	69	304,249	311916,2	183,838	0	1,133	1716134,96
	64	282,074	289181,9	183,793	0	1,075	1626241,04
	59,1	260,357	266918,1	183,745	0	1,017	1533426,83
	54,3	239,118	245144,1	183,693	0	0,959	1442550,33
	49,6	218,386	223889,3	183,636	0	0,901	1349028,74
	45	198,184	203178,1	183,573	0	0,842	1257007,82
	40,5	178,531	183030,1	183,505	0	0,784	1166129,89
	36,2	159,46	163478,2	183,429	0	0,726	1073946,04
	32	141,01	144563,6	183,345	0	0,668	981920,366
	28	123,216	126321,4	183,252	0	0,609	888263,913
	24,1	106,134	108808,2	183,146	0	0,551	797396,519
	20,4	89,793	92055,7	183,026	0	0,492	706416,728
	16,9	74,262	76133,6	182,887	0	0,434	615629,363
	13,5	59,624	61126	182,725	0	0,375	524531,532
	10,4	45,967	47125,7	182,533	0	0,317	436540,793
	7,6	33,403	34245,1	182,306	0	0,258	347238,668
	5	22,093	22650,2	182,029	0	0,2	259219,089
	2,8	12,272	12581,2	181,685	0	0,142	172817,885
	1	4,394	4504,9	181,149	0	0,083	83723,996
	1	4,363	4473,4	181,146	0	0,083	83346,715
Tanque lateral proa s	100	30,435	31202,4	188,517	6,79	15,22	0
	98	29,824	30575,1	188,505	6,784	15,184	7278,603
	82,3	25,043	25674,4	188,399	6,731	14,882	5773,619
	64,6	19,669	20164,8	188,253	6,666	14,489	4119,437
	49,8	15,171	15553,6	188,105	6,601	14,093	2815,684
	37,6	11,444	11732	187,945	6,541	13,692	1906,255
	27,7	8,433	8645,8	187,776	6,485	13,288	1216,994
	20,1	6,11	6264,2	187,635	6,43	12,893	688,308
	14,2	4,311	4419,3	187,514	6,376	12,504	428,616
	9,5	2,904	2977,5	187,369	6,328	12,106	254,395
	6,2	1,873	1920,3	187,223	6,283	11,707	129,627
	3,8	1,169	1198,1	187,141	6,233	11,331	58,974
	2,2	0,659	675,7	187,034	6,188	10,946	28,605
	1,1	0,324	332,3	186,882	6,152	10,543	11,583
	1	0,304	312	186,869	6,15	10,51	10,591
	0,5	0,145	148,9	186,799	6,111	10,17	2,567
	0,2	0,047	48,3	186,75	6,068	9,817	0,569
	0	0,005	5,6	186,533	6,042	9,404	0,051

Tanque lateral proa p	100	30,435	31202,4	188,517	-6,79	15,22	0
	98	29,824	30575,1	188,505	-6,784	15,184	7278,603
	82,3	25,043	25674,4	188,399	-6,731	14,882	5773,619
	64,6	19,669	20164,8	188,253	-6,666	14,489	4119,437
	49,8	15,171	15553,6	188,105	-6,601	14,093	2815,684
	37,6	11,444	11732	187,945	-6,541	13,692	1906,255
	27,7	8,433	8645,8	187,776	-6,485	13,288	1216,994
	20,1	6,11	6264,2	187,635	-6,43	12,893	688,308
	14,2	4,311	4419,3	187,514	-6,376	12,504	428,616
	9,5	2,904	2977,5	187,369	-6,328	12,106	254,395
	6,2	1,873	1920,3	187,223	-6,283	11,707	129,627
	3,8	1,169	1198,1	187,141	-6,233	11,331	58,974
	2,2	0,659	675,7	187,034	-6,188	10,946	28,605
	1,1	0,324	332,3	186,882	-6,152	10,543	11,583
	1	0,304	312	186,869	-6,15	10,51	10,591
	0,5	0,145	148,9	186,799	-6,111	10,17	2,567
	0,2	0,047	48,3	186,75	-6,068	9,817	0,569
	0	0,005	5,6	186,533	-6,042	9,404	0,051
Pique de Proa	100	1646,578	1688072,1	195,878	0	9,882	0
	98	1613,377	1654034,3	195,87	0	9,738	1024717,79
	97,7	1609,159	1649709,7	195,869	0	9,719	1021149,67
	91,2	1501,818	1539664,1	195,86	0	9,243	939914,759
	85	1400,182	1435466,8	195,875	0	8,78	879043,301
	79,2	1304,311	1337179,9	195,913	0	8,331	783250,669
	73,8	1214,678	1245287,5	195,978	0	7,904	708052,349
	68,7	1130,871	1159369,2	196,073	0	7,498	650899,871
	63,9	1052,975	1079509,5	196,201	0	7,118	576637,403
	59,5	980,246	1004948,2	196,359	0	6,765	516637,221
	55,4	911,876	934855,6	196,545	0	6,438	470495,698
	51,5	847,238	868588	196,763	0	6,137	424269,909
	47,6	784,368	804134,2	197,005	0	5,858	393144,317
	43,5	715,93	733970,9	197,224	0	5,57	395906,396
	38,4	632,388	648323,7	197,306	0	5,234	436752,521
	32,8	539,461	553055,4	197,291	0	4,866	474332,765
	26,9	442,251	453395,4	197,211	0	4,48	492167,847
	20,9	344,379	353057,2	197,08	0	4,083	483988,52
	15,1	248,805	255074,9	196,909	0	3,682	450235,378
	9,6	157,814	161791,2	196,681	0	3,281	395941,133
	4,5	74,052	75917,8	196,41	0	2,884	325412,017
	1	16,383	16796,4	196,213	0	2,588	262371,604
Pique de Popa	100	2396,821	2457220,3	0,819	0	13,466	0
	98	2348,638	2407823,4	0,829	0	13,395	18052056,5
	90,6	2172,584	2227333,3	0,869	0	13,134	17993715,7
	79,4	1904,059	1952041,6	0,946	0	12,73	17850946,3
	68,3	1636,554	1677795,4	1,046	0	12,318	17586321,5
	57,2	1371,06	1405611	1,181	0	11,895	17090461,7
	46,3	1109,322	1137276,4	1,374	0	11,457	16207528,9

	35,7	854,538	876072,5	1,66	0	10,997	14688298,5
	25,6	612,553	627989	2,107	0	10,5	12297368,2
	16,4	393,09	402996,3	2,85	0	9,937	9023670,79
	8,9	212,155	217501,5	4,151	0	9,228	5200333,89
	4,3	103,222	105823,2	5,215	0	8,371	1836396,07
	2,3	55,175	56565,2	5,572	0	7,558	220472,176
	1,4	32,693	33516,8	5,968	0	6,885	47804,349
	1	23,96	24563,4	6,105	0	6,52	28390,712
	0,8	20,087	20593	6,188	0	6,33	22028,246
	0,5	10,894	11168,5	6,52	0	5,744	9767,955
	0,2	5,596	5736,9	6,677	0	5,24	5339,254
	0,1	1,894	1941,5	6,97	0	4,669	1847,984
	0	0,396	406,1	7,074	0	4,18	415,815
	100	2473,14	2335385,9	180,371	0	9,82	0
	98,3	2429,94	2294592,1	180,37	0	9,695	0
Tanque HFO Proa	98	2423,43	2288444,7	180,37	0	9,676	1958101,7
	93	2300,34	2172210,8	180,366	0	9,319	1958101,7
	87,8	2170,74	2049829,4	180,361	0	8,942	1958101,7
	82,5	2041,14	1927448,1	180,356	0	8,565	1958101,7
	77,3	1911,539	1805066,7	180,351	0	8,189	1958101,7
	72,1	1781,939	1682685,3	180,344	0	7,811	1958101,7
	66,8	1652,339	1560304	180,336	0	7,434	1958101,7
	61,6	1522,739	1437922,6	180,327	0	7,056	1958101,7
	56,3	1393,139	1315541,3	180,317	0	6,677	1958101,7
	51,1	1263,578	1193196,4	180,304	0	6,298	1952554,76
	45,9	1134,212	1071036,1	180,29	0	5,919	1943549,64
	40,6	1005,175	949186,7	180,275	0	5,539	1924311,41
	35,4	876,577	827752	180,257	0	5,16	1908637,51
	30,3	748,327	706645,5	180,238	0	4,78	1896486,5
	25,1	620,524	585960,8	180,214	0	4,4	1872275,54
	19,9	493,365	465884,2	180,185	0	4,02	1845110,76
	14,8	366,981	346540,2	180,148	0	3,639	1813488,95
	9,8	241,93	228454,6	180,1	0	3,258	1743071,03
	4,8	119,08	112447,2	180,04	0	2,877	1645549,46
	1	24,563	23195,2	179,984	0	2,579	1529120,49
Tanque HFO Almacenes	100	150	141645,2	22,411	12,5	14,5	0
	98	146,985	138798,2	22,411	12,5	14,47	98364,732
	93,3	140	132202,2	22,411	12,5	14,4	98364,732
	86,7	130	122759,2	22,411	12,5	14,3	98364,732
	80	120	113316,2	22,411	12,5	14,2	98364,732
	73,3	110	103873,1	22,411	12,5	14,1	98364,732
	66,7	100	94430,1	22,411	12,5	14	98364,732
	60	90	84987,1	22,411	12,5	13,9	98364,732
	53,3	80	75544,1	22,411	12,5	13,8	98364,732
	46,7	70	66101,1	22,411	12,5	13,7	98364,732
	40	60	56658,1	22,411	12,5	13,6	98364,732
	33,3	50	47215,1	22,411	12,5	13,5	98364,732

	26,7	40	37772,1	22,411	12,5	13,4	98364,732
	20	30	28329	22,411	12,5	13,3	98364,732
	13,3	20	18886	22,411	12,5	13,2	98364,732
	6,7	10	9443	22,411	12,5	13,1	98364,732
	1	1,5	1416,5	22,411	12,5	13,015	98364,732
Tanque HFO Almacen p	100	150	141645,2	22,411	-12,5	14,5	0
	98	146,985	138798,2	22,411	-12,5	14,47	98364,732
	93,3	140	132202,2	22,411	-12,5	14,4	98364,732
	86,7	130	122759,2	22,411	-12,5	14,3	98364,732
	80	120	113316,2	22,411	-12,5	14,2	98364,732
	73,3	110	103873,1	22,411	-12,5	14,1	98364,732
	66,7	100	94430,1	22,411	-12,5	14	98364,732
	60	90	84987,1	22,411	-12,5	13,9	98364,732
	53,3	80	75544,1	22,411	-12,5	13,8	98364,732
	46,7	70	66101,1	22,411	-12,5	13,7	98364,732
	40	60	56658,1	22,411	-12,5	13,6	98364,732
	33,3	50	47215,1	22,411	-12,5	13,5	98364,732
	26,7	40	37772,1	22,411	-12,5	13,4	98364,732
	20	30	28329	22,411	-12,5	13,3	98364,732
	13,3	20	18886	22,411	-12,5	13,2	98364,732
	6,7	10	9443	22,411	-12,5	13,1	98364,732
	1	1,5	1416,5	22,411	-12,5	13,015	98364,732
Tanque IMO FO	100	60	56658	32,411	14	14,5	0
	98	58,794	55519,2	32,411	14	14,47	6295,333
	93,3	56	52880,8	32,411	14	14,4	6295,333
	86,7	52	49103,6	32,411	14	14,3	6295,333
	80	48	45326,4	32,411	14	14,2	6295,333
	73,3	44	41549,2	32,411	14	14,1	6295,333
	66,7	40	37772	32,411	14	14	6295,333
	60	36	33994,8	32,411	14	13,9	6295,333
	53,3	32	30217,6	32,411	14	13,8	6295,333
	46,7	28	26440,4	32,411	14	13,7	6295,333
	40	24	22663,2	32,411	14	13,6	6295,333
	33,3	20	18886	32,411	14	13,5	6295,333
	26,7	16	15108,8	32,411	14	13,4	6295,333
	20	12	11331,6	32,411	14	13,3	6295,333
	13,3	8	7554,4	32,411	14	13,2	6295,333
	6,7	4	3777,2	32,411	14	13,1	6295,333
	1	0,6	566,6	32,411	14	13,015	6295,333
Tanque FO Servicio p	100	90	84987	45,911	7,5	11	0
	98	88,191	83278,8	45,911	7,5	10,98	796753,115
	95	85,5	80737,7	45,911	7,5	10,95	796753,115
	90	81	76488,3	45,911	7,5	10,9	796753,115
	85	76,5	72239	45,911	7,5	10,85	796753,115
	80	72	67989,6	45,911	7,5	10,8	796753,115
	75	67,5	63740,2	45,911	7,5	10,75	796753,115
	70	63	59490,9	45,911	7,5	10,7	796753,115

	65	58,5	55241,5	45,911	7,5	10,65	796753,115
	60	54	50992,2	45,911	7,5	10,6	796753,115
	55	49,5	46742,9	45,911	7,5	10,55	796753,115
	50	45	42493,5	45,911	7,5	10,5	796753,115
	45	40,5	38244,1	45,911	7,5	10,45	796753,115
	40	36	33994,8	45,911	7,5	10,4	796753,115
	35	31,5	29745,5	45,911	7,5	10,35	796753,115
	30	27	25496,1	45,911	7,5	10,3	796753,115
	25	22,5	21246,7	45,911	7,5	10,25	796753,115
	20	18	16997,4	45,911	7,5	10,2	796753,115
	15	13,5	12748,1	45,911	7,5	10,15	796753,115
	10	9	8498,7	45,911	7,5	10,1	796753,115
	5	4,5	4249,4	45,911	7,5	10,05	796753,115
	1	0,9	849,9	45,911	7,5	10,01	796753,115
Tanque FO Servicio s	100	90	84987	45,911	-7,5	11	0
	98	88,191	83278,8	45,911	-7,5	10,98	796753,115
	95	85,5	80737,7	45,911	-7,5	10,95	796753,115
	90	81	76488,3	45,911	-7,5	10,9	796753,115
	85	76,5	72239	45,911	-7,5	10,85	796753,115
	80	72	67989,6	45,911	-7,5	10,8	796753,115
	75	67,5	63740,2	45,911	-7,5	10,75	796753,115
	70	63	59490,9	45,911	-7,5	10,7	796753,115
	65	58,5	55241,5	45,911	-7,5	10,65	796753,115
	60	54	50992,2	45,911	-7,5	10,6	796753,115
	55	49,5	46742,9	45,911	-7,5	10,55	796753,115
	50	45	42493,5	45,911	-7,5	10,5	796753,115
	45	40,5	38244,1	45,911	-7,5	10,45	796753,115
	40	36	33994,8	45,911	-7,5	10,4	796753,115
	35	31,5	29745,5	45,911	-7,5	10,35	796753,115
	30	27	25496,1	45,911	-7,5	10,3	796753,115
	25	22,5	21246,7	45,911	-7,5	10,25	796753,115
	20	18	16997,4	45,911	-7,5	10,2	796753,115
	15	13,5	12748,1	45,911	-7,5	10,15	796753,115
	10	9	8498,7	45,911	-7,5	10,1	796753,115
	5	4,5	4249,4	45,911	-7,5	10,05	796753,115
	1	0,9	849,9	45,911	-7,5	10,01	796753,115
Tanque DO Almacen	100	100	82030	32,411	-12,5	11	0
	98	97,99	80381,2	32,411	-12,5	10,98	85447,915
	95	95	77928,5	32,411	-12,5	10,95	85447,915
	90	90	73827	32,411	-12,5	10,9	85447,915
	85	85	69725,5	32,411	-12,5	10,85	85447,915
	80	80	65624	32,411	-12,5	10,8	85447,915
	75	75	61522,5	32,411	-12,5	10,75	85447,915
	70	70	57421	32,411	-12,5	10,7	85447,915
	65	65	53319,5	32,411	-12,5	10,65	85447,915
	60	60	49218	32,411	-12,5	10,6	85447,915
	55	55	45116,5	32,411	-12,5	10,55	85447,915

	50	50	41015	32,411	-12,5	10,5	85447,915
	45	45	36913,5	32,411	-12,5	10,45	85447,915
	40	40	32812	32,411	-12,5	10,4	85447,915
	35	35	28710,5	32,411	-12,5	10,35	85447,915
	30	30	24609	32,411	-12,5	10,3	85447,915
	25	25	20507,5	32,411	-12,5	10,25	85447,915
	20	20	16406	32,411	-12,5	10,2	85447,915
	15	15	12304,5	32,411	-12,5	10,15	85447,915
	10	10	8203	32,411	-12,5	10,1	85447,915
	5	5	4101,5	32,411	-12,5	10,05	85447,915
	1	1	820,3	32,411	-12,5	10,01	85447,915
	100	50	41014,9	39,911	-12,5	11	0
Tanque DO Diario p	98	48,995	40190,5	39,911	-12,5	10,98	42723,827
	95	47,5	38964,1	39,911	-12,5	10,95	42723,827
	90	45	36913,4	39,911	-12,5	10,9	42723,827
	85	42,5	34862,6	39,911	-12,5	10,85	42723,827
	80	40	32811,9	39,911	-12,5	10,8	42723,827
	75	37,5	30761,2	39,911	-12,5	10,75	42723,827
	70	35	28710,4	39,911	-12,5	10,7	42723,827
	65	32,5	26659,7	39,911	-12,5	10,65	42723,827
	60	30	24608,9	39,911	-12,5	10,6	42723,827
	55	27,5	22558,2	39,911	-12,5	10,55	42723,827
	50	25	20507,4	39,911	-12,5	10,5	42723,827
	45	22,5	18456,7	39,911	-12,5	10,45	42723,827
	40	20	16405,9	39,911	-12,5	10,4	42723,827
	35	17,5	14355,2	39,911	-12,5	10,35	42723,827
	30	15	12304,5	39,911	-12,5	10,3	42723,827
	25	12,5	10253,7	39,911	-12,5	10,25	42723,827
	20	10	8203	39,911	-12,5	10,2	42723,827
	15	7,5	6152,2	39,911	-12,5	10,15	42723,827
	10	5	4101,5	39,911	-12,5	10,1	42723,827
	5	2,5	2050,7	39,911	-12,5	10,05	42723,827
	1	0,5	410,1	39,911	-12,5	10,01	42723,827
Tanque GO Almacen	100	100	85240	32,411	12,5	11	0
	98	97,99	83526,7	32,411	12,5	10,98	88791,669
	95	95	80978	32,411	12,5	10,95	88791,669
	90	90	76716	32,411	12,5	10,9	88791,669
	85	85	72454	32,411	12,5	10,85	88791,669
	80	80	68192	32,411	12,5	10,8	88791,669
	75	75	63930	32,411	12,5	10,75	88791,669
	70	70	59668	32,411	12,5	10,7	88791,669
	65	65	55406	32,411	12,5	10,65	88791,669
	60	60	51144	32,411	12,5	10,6	88791,669
	55	55	46882	32,411	12,5	10,55	88791,669
	50	50	42620	32,411	12,5	10,5	88791,669
	45	45	38358	32,411	12,5	10,45	88791,669
	40	40	34096	32,411	12,5	10,4	88791,669

	35	35	29834	32,411	12,5	10,35	88791,669
	30	30	25572	32,411	12,5	10,3	88791,669
	25	25	21310	32,411	12,5	10,25	88791,669
	20	20	17048	32,411	12,5	10,2	88791,669
	15	15	12786	32,411	12,5	10,15	88791,669
	10	10	8524	32,411	12,5	10,1	88791,669
	5	5	4262	32,411	12,5	10,05	88791,669
	1	1	852,4	32,411	12,5	10,01	88791,669
Tanque GO Diario s	100	50	42619,9	39,911	12,5	11	0
	98	48,995	41763,2	39,911	12,5	10,98	44395,699
	95	47,5	40488,9	39,911	12,5	10,95	44395,699
	90	45	38357,9	39,911	12,5	10,9	44395,699
	85	42,5	36226,9	39,911	12,5	10,85	44395,699
	80	40	34095,9	39,911	12,5	10,8	44395,699
	75	37,5	31964,9	39,911	12,5	10,75	44395,699
	70	35	29833,9	39,911	12,5	10,7	44395,699
	65	32,5	27702,9	39,911	12,5	10,65	44395,699
	60	30	25571,9	39,911	12,5	10,6	44395,699
	55	27,5	23440,9	39,911	12,5	10,55	44395,699
	50	25	21309,9	39,911	12,5	10,5	44395,699
	45	22,5	19178,9	39,911	12,5	10,45	44395,699
	40	20	17047,9	39,911	12,5	10,4	44395,699
	35	17,5	14917	39,911	12,5	10,35	44395,699
	30	15	12786	39,911	12,5	10,3	44395,699
	25	12,5	10655	39,911	12,5	10,25	44395,699
	20	10	8524	39,911	12,5	10,2	44395,699
	15	7,5	6393	39,911	12,5	10,15	44395,699
	10	5	4262	39,911	12,5	10,1	44395,699
	5	2,5	2131	39,911	12,5	10,05	44395,699
	1	0,5	426,2	39,911	12,5	10,01	44395,699
Tanque almacén aceite	100	68,772	63270	38,078	5,909	2,202	0
	98	67,389	61998,2	38,094	5,894	2,186	191708,738
	91,4	62,844	57816,3	38,149	5,843	2,132	176171,325
	83,2	57,228	52649,5	38,221	5,777	2,061	157307,377
	75,5	51,922	47768,2	38,294	5,71	1,991	139389,091
	68,2	46,917	43163,8	38,367	5,643	1,921	122815,12
	61,4	42,203	38826,3	38,443	5,577	1,85	107499,404
	54,9	37,781	34758,3	38,519	5,509	1,78	93239,443
	48,9	33,648	30955,9	38,597	5,442	1,71	80029,263
	43,3	29,791	27407,3	38,677	5,375	1,64	68239,544
	38,1	26,204	24107,2	38,759	5,308	1,57	57556,374
	33,3	22,882	21051,8	38,844	5,242	1,5	48015,966
	28,8	19,821	18235,3	38,932	5,175	1,43	39670,282
	24,7	17,007	15646,4	39,025	5,109	1,361	32378,463
	21	14,436	13280,8	39,123	5,043	1,291	26019,87
	17,6	12,104	11135,4	39,225	4,977	1,222	20521,659
	14,5	10,003	9203,1	39,332	4,912	1,153	15977,484

	11,8	8,123	7472,8	39,449	4,847	1,084	12141,706
	9,4	6,458	5941,2	39,577	4,783	1,016	8942,635
	7,3	5,008	4607,1	39,709	4,718	0,947	6343,163
	5,5	3,757	3456,5	39,855	4,655	0,879	4419,639
	3,9	2,697	2481,6	40,021	4,593	0,812	2922,275
	2,7	1,828	1681,8	40,19	4,531	0,745	1803,512
	1,6	1,132	1041,5	40,383	4,469	0,68	1058,153
	1	0,686	631,3	40,564	4,419	0,627	609,512
	0,9	0,603	555,1	40,601	4,408	0,615	527,56
	0,3	0,232	213,1	40,817	4,348	0,555	232,106
	100	68,772	63270	38,078	-5,909	2,202	0
Tanque renovacion aceite	98	67,389	61998,2	38,094	-5,894	2,186	191708,738
	91,4	62,844	57816,3	38,149	-5,843	2,132	176171,325
	83,2	57,228	52649,5	38,221	-5,777	2,061	157307,377
	75,5	51,922	47768,2	38,294	-5,71	1,991	139389,091
	68,2	46,917	43163,8	38,367	-5,643	1,921	122815,12
	61,4	42,203	38826,3	38,443	-5,577	1,85	107499,404
	54,9	37,781	34758,3	38,519	-5,509	1,78	93239,443
	48,9	33,648	30955,9	38,597	-5,442	1,71	80029,263
	43,3	29,791	27407,3	38,677	-5,375	1,64	68239,544
	38,1	26,204	24107,2	38,759	-5,308	1,57	57556,374
	33,3	22,882	21051,8	38,844	-5,242	1,5	48015,966
	28,8	19,821	18235,3	38,932	-5,175	1,43	39670,282
	24,7	17,007	15646,4	39,025	-5,109	1,361	32378,463
	21	14,436	13280,8	39,123	-5,043	1,291	26019,87
	17,6	12,104	11135,4	39,225	-4,977	1,222	20521,659
	14,5	10,003	9203,1	39,332	-4,912	1,153	15977,484
	11,8	8,123	7472,8	39,449	-4,847	1,084	12141,706
	9,4	6,458	5941,2	39,577	-4,783	1,016	8942,635
	7,3	5,008	4607,1	39,709	-4,718	0,947	6343,163
	5,5	3,757	3456,5	39,855	-4,655	0,879	4419,639
	3,9	2,697	2481,6	40,021	-4,593	0,812	2922,275
	2,7	1,828	1681,8	40,19	-4,531	0,745	1803,512
	1,6	1,132	1041,5	40,383	-4,469	0,68	1058,153
	1	0,686	631,3	40,564	-4,419	0,627	609,512
	0,9	0,603	555,1	40,601	-4,408	0,615	527,56
	0,3	0,232	213,1	40,817	-4,348	0,555	232,106
Tanque rebose p	100	34,184	31449,4	35,393	-3,483	1,833	0
	98	33,497	30817,3	35,403	-3,483	1,81	1149,999
	95,6	32,684	30069,4	35,415	-3,482	1,782	1149,999
	91,2	31,184	28689,4	35,439	-3,482	1,73	1149,999
	86,8	29,684	27309,4	35,466	-3,481	1,679	1149,999
	82,4	28,184	25929,4	35,496	-3,48	1,627	1149,999
	78,1	26,684	24549,4	35,528	-3,479	1,575	1149,999
	73,7	25,184	23169,4	35,565	-3,477	1,523	1149,999
	69,3	23,685	21789,8	35,606	-3,476	1,471	1148,237
	64,9	22,187	20412	35,653	-3,474	1,418	1140,723

	60,5	20,694	19038,6	35,704	-3,473	1,365	1133,098
	56,2	19,206	17669,6	35,761	-3,471	1,312	1128,109
	51,9	17,725	16306,9	35,824	-3,469	1,259	1111,749
	47,6	16,255	14954,9	35,894	-3,467	1,206	1097,421
	43,3	14,797	13613,7	35,972	-3,464	1,152	1087,31
	39,1	13,351	12283,2	36,06	-3,462	1,098	1080,674
	34,9	11,92	10966,8	36,16	-3,459	1,044	1055,801
	30,8	10,514	9672,5	36,272	-3,456	0,989	1032,798
	26,7	9,131	8400,7	36,398	-3,454	0,935	1017,805
	22,7	7,774	7151,7	36,547	-3,451	0,88	1001,595
	18,9	6,455	5938,4	36,719	-3,448	0,825	955,692
	15,2	5,186	4771	36,914	-3,445	0,769	923,377
	11,6	3,971	3652,9	37,141	-3,441	0,714	882,642
	8,3	2,832	2605,7	37,389	-3,438	0,659	803,856
	5,2	1,781	1638,6	37,658	-3,434	0,605	749,842
	2,4	0,829	762,7	37,966	-3,429	0,551	643,526
	1	0,342	314,5	38,131	-3,427	0,522	599,164
Tanque rebosados	100	34,184	31449,4	35,393	3,483	1,833	0
	98	33,497	30817,3	35,403	3,483	1,81	1149,999
	95,6	32,684	30069,4	35,415	3,482	1,782	1149,999
	91,2	31,184	28689,4	35,439	3,482	1,73	1149,999
	86,8	29,684	27309,4	35,466	3,481	1,679	1149,999
	82,4	28,184	25929,4	35,496	3,48	1,627	1149,999
	78,1	26,684	24549,4	35,528	3,479	1,575	1149,999
	73,7	25,184	23169,4	35,565	3,477	1,523	1149,999
	69,3	23,685	21789,8	35,606	3,476	1,471	1148,237
	64,9	22,187	20412	35,653	3,474	1,418	1140,723
	60,5	20,694	19038,6	35,704	3,473	1,365	1133,098
	56,2	19,206	17669,6	35,761	3,471	1,312	1128,109
	51,9	17,725	16306,9	35,824	3,469	1,259	1111,749
	47,6	16,255	14954,9	35,894	3,467	1,206	1097,421
	43,3	14,797	13613,7	35,972	3,464	1,152	1087,31
	39,1	13,351	12283,2	36,06	3,462	1,098	1080,674
	34,9	11,92	10966,8	36,16	3,459	1,044	1055,801
	30,8	10,514	9672,5	36,272	3,456	0,989	1032,798
	26,7	9,131	8400,7	36,398	3,454	0,935	1017,805
	22,7	7,774	7151,7	36,547	3,451	0,88	1001,595
	18,9	6,455	5938,4	36,719	3,448	0,825	955,692
	15,2	5,186	4771	36,914	3,445	0,769	923,377
	11,6	3,971	3652,9	37,141	3,441	0,714	882,642
	8,3	2,832	2605,7	37,389	3,438	0,659	803,856
	5,2	1,781	1638,6	37,658	3,434	0,605	749,842
	2,4	0,829	762,7	37,966	3,429	0,551	643,526
	1	0,342	314,5	38,131	3,427	0,522	599,164
Tanque aceite refrigera	100	99,428	91474,2	22,433	0	1,756	0
	98	97,43	89635,6	22,433	0	1,731	49066,667
	96	95,428	87794,2	22,433	0	1,706	49066,667

	92	91,428	84114,2	22,434	0	1,656	49066,667
	87,9	87,428	80434,2	22,435	0	1,606	49066,667
	83,9	83,428	76754,2	22,437	0	1,556	49066,667
	79,9	79,428	73074,2	22,438	0	1,506	49066,667
	75,9	75,428	69394,2	22,439	0	1,456	49066,667
	71,8	71,428	65714,2	22,441	0	1,406	49066,667
	67,8	67,428	62034,2	22,443	0	1,356	49066,667
	63,8	63,428	58354,2	22,445	0	1,306	49066,667
	59,8	59,428	54674,2	22,447	0	1,256	49066,667
	55,7	55,428	50994,2	22,45	0	1,205	49066,667
	51,7	51,428	47314,2	22,453	0	1,155	49066,667
	47,7	47,428	43634,2	22,456	0	1,105	49066,667
	43,7	43,428	39954,2	22,46	0	1,055	49066,667
	39,7	39,428	36274,2	22,465	0	1,005	49066,667
	35,6	35,428	32594,2	22,471	0	0,954	49066,667
	31,6	31,428	28914,2	22,479	0	0,904	49066,667
	27,6	27,429	25235	22,489	0	0,854	48959,44
	23,6	23,435	21560,3	22,501	0	0,803	48743,566
	19,6	19,451	17895,2	22,516	0	0,753	48248,91
	15,6	15,483	14244,4	22,533	0	0,702	47576,473
	11,6	11,541	10617,6	22,555	0	0,651	46640,432
	7,7	7,63	7019,8	22,582	0	0,601	45375,447
	3,8	3,772	3469,8	22,619	0	0,55	43522,069
	1	0,991	911,3	22,654	0	0,513	41221,402
Tanque aguas aceitosas	100	3,337	3069,9	25,905	3,336	2,343	0
	98	3,27	3008,2	25,908	3,333	2,33	357,692
	96,7	3,227	2969,2	25,911	3,331	2,321	348,124
	86,6	2,89	2658,7	25,93	3,315	2,252	292,549
	77,2	2,575	2368,7	25,95	3,3	2,182	246,793
	68,4	2,281	2098,4	25,971	3,285	2,113	206,54
	60,2	2,008	1847,3	25,993	3,27	2,044	170,959
	52,6	1,756	1615,3	26,016	3,256	1,976	139,802
	45,6	1,523	1401,1	26,041	3,242	1,908	112,716
	39,2	1,309	1204,1	26,069	3,229	1,84	89,562
	33,3	1,113	1023,7	26,099	3,216	1,773	70,755
	28	0,934	859,1	26,132	3,204	1,707	55,724
	23,1	0,771	709,7	26,166	3,191	1,641	43,72
	18,7	0,624	574	26,207	3,179	1,575	34,26
	14,7	0,491	451,7	26,258	3,166	1,509	26,285
	11,2	0,373	342,7	26,326	3,154	1,442	19,66
	8	0,269	247,1	26,42	3,143	1,373	14,241
	5,4	0,182	167,2	26,538	3,131	1,303	9,651
	3,4	0,114	105	26,645	3,115	1,232	5,287
	1,9	0,064	59,1	26,715	3,093	1,163	3,016
	1	0,033	30,7	26,812	3,073	1,102	1,403
	0,9	0,029	26,5	26,836	3,07	1,09	1,185
	0,3	0,009	8,4	27,031	3,05	1,013	0,242

	0	0,001	1,4	27,103	3,023	0,944	0,019
Tanque de aceite sucio	100	2,045	1881,8	25,122	-3,265	2,399	0
	98	2,004	1844	25,126	-3,263	2,387	152,658
	91,5	1,872	1722	25,138	-3,255	2,347	137,392
	80,7	1,651	1519,2	25,159	-3,241	2,276	113,372
	70,8	1,448	1332,5	25,181	-3,228	2,205	92,471
	61,7	1,263	1161,7	25,202	-3,215	2,136	74,258
	53,4	1,093	1005,8	25,223	-3,203	2,068	58,521
	45,9	0,938	863,4	25,245	-3,191	2	46,121
	38,9	0,797	732,9	25,271	-3,18	1,933	36,409
	32,6	0,667	613,5	25,302	-3,169	1,866	28,967
	26,8	0,549	504,8	25,338	-3,159	1,799	23,014
	21,6	0,442	406,6	25,382	-3,149	1,732	17,937
	16,9	0,347	318,9	25,435	-3,139	1,664	13,66
	12,9	0,263	241,8	25,5	-3,129	1,596	10,102
	9,3	0,191	175,3	25,582	-3,12	1,527	7,182
	6,4	0,13	119,9	25,679	-3,111	1,457	4,596
	4,1	0,084	77,3	25,739	-3,097	1,39	2,671
	2,3	0,047	43,2	25,823	-3,081	1,32	1,664
	1	0,021	19,2	25,955	-3,064	1,245	0,711
	1	0,02	18,8	25,959	-3,064	1,243	0,692
	0,4	0,007	6,6	26,063	-3,044	1,171	0,122
	0,1	0,001	1	26,132	-3,02	1,101	0,011
Tanque agua destilada	100	202,359	202359	19,966	0	7,855	0
	98	198,292	198291,6	19,967	0	7,838	640000
	94,1	190,359	190359	19,969	0	7,805	640000
	88,1	178,359	178359	19,973	0	7,755	640000
	82,2	166,359	166359	19,977	0	7,705	640000
	76,3	154,359	154359	19,983	0	7,655	640000
	70,3	142,359	142359	19,989	0	7,605	640000
	64,4	130,359	130359	19,996	0	7,555	640000
	58,5	118,359	118359	20,004	0	7,504	640000
	52,6	106,359	106359	20,015	0	7,454	640000
	46,6	94,359	94359	20,028	0	7,404	640000
	40,7	82,359	82359	20,045	0	7,353	640000
	34,8	70,36	70360,2	20,068	0	7,303	638963,383
	28,9	58,391	58390,6	20,096	0	7,252	630141,603
	23	46,504	46504	20,127	0	7,201	621371,937
	17,1	34,687	34687,1	20,163	0	7,151	609386,058
	11,4	23,018	23017,9	20,194	0	7,1	592356,079
	5,7	11,466	11465,7	20,219	0	7,05	585203,197
	1	2,02	2020,4	20,239	0	7,009	580337,844
Tanque agua dulce s	100	105,731	105730,6	20,668	7,43	7,856	0
	98	103,605	103605,4	20,683	7,429	7,841	156250
	92,9	98,231	98230,6	20,726	7,425	7,803	156250
	85,8	90,731	90731,1	20,793	7,419	7,75	156096,89
	78,7	83,245	83244,8	20,871	7,412	7,696	154674,25

	71,7	75,796	75796,4	20,961	7,405	7,641	153209,911
	64,7	68,415	68415,1	21,062	7,398	7,586	149723,212
	57,8	61,15	61150,4	21,172	7,392	7,531	147333,121
	51,1	54,016	54016,5	21,294	7,387	7,476	145755,659
	44,5	47,078	47078,5	21,42	7,384	7,421	139941,972
	38,2	40,387	40386,8	21,543	7,382	7,366	134632,557
	32,1	33,923	33923,4	21,666	7,379	7,312	131805,573
	26,2	27,681	27681,4	21,788	7,373	7,258	125360,958
	20,5	21,685	21685	21,907	7,37	7,205	120347,422
	15,1	15,928	15928	22,025	7,371	7,153	115866,547
	9,8	10,41	10409,9	22,131	7,369	7,101	110901,214
	4,8	5,097	5096,5	22,229	7,353	7,05	107392,833
	1	1,054	1053,7	22,312	7,341	7,011	103057,408
Tanque agua dulce p	100	105,731	105730,6	20,668	-7,43	7,856	0
	98	103,605	103605,4	20,683	-7,429	7,841	156250
	92,9	98,231	98230,6	20,726	-7,425	7,803	156250
	85,8	90,731	90731,1	20,793	-7,419	7,75	156096,89
	78,7	83,245	83244,8	20,871	-7,412	7,696	154674,25
	71,7	75,796	75796,4	20,961	-7,405	7,641	153209,911
	64,7	68,415	68415,1	21,062	-7,398	7,586	149723,212
	57,8	61,15	61150,4	21,172	-7,392	7,531	147333,121
	51,1	54,016	54016,5	21,294	-7,387	7,476	145755,659
	44,5	47,078	47078,5	21,42	-7,384	7,421	139941,972
	38,2	40,387	40386,8	21,543	-7,382	7,366	134632,557
	32,1	33,923	33923,4	21,666	-7,379	7,312	131805,573
	26,2	27,681	27681,4	21,788	-7,373	7,258	125360,958
	20,5	21,685	21685	21,907	-7,37	7,205	120347,422
	15,1	15,928	15928	22,025	-7,371	7,153	115866,547
	9,8	10,41	10409,9	22,131	-7,369	7,101	110901,214
	4,8	5,097	5096,5	22,229	-7,353	7,05	107392,833
	1	1,054	1053,7	22,312	-7,341	7,011	103057,408

Se comprueba que la capacidad de carga es de 50.242,604 M³, que arroja una desviación sobre la requerida del 1.5%.

5. CALCULO DEL FRANCOBORDO

El francobordo se define como la distancia medida desde la cubierta de francobordo; en nuestro caso es la cubierta superior estanca a 19 m sobre la línea base, hasta la línea de carga correspondiente. Esto es, hasta el calado correspondiente a la condición de carga en que se encuentre el buque.

– Puntal de trazado

El puntal de trazado será la distancia vertical medida desde el canto alto de la quilla hasta el canto alto del bao de la cubierta de francobordo en el costado. Así pues, el valor del puntal de trazado es:

$$D_s = 19 \text{ m}$$

– Puntal de francobordo (D)

El puntal de francobordo es el puntal de trazado en el centro del buque más el espesor de la chapa de trancanil de la cubierta de francobordo, que es de 15 mm.

$$D = 19,015 \text{ m}$$

– Eslora de francobordo, L.

Se tomará como eslora de francobordo el 96 % de la eslora total en una línea de flotación situada a una distancia de la quilla igual al 85 % del puntal mínimo de trazado o la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón en dicha flotación, si esta última fuera mayor.

$$L = 216.753 \text{ m}$$

– **Manga, B.**

La manga, B, será la manga máxima del buque medida en el centro del mismo, esto es, en el punto medio de la eslora L, y hasta la línea de trazado de la cuaderna.

$$B = 32 \text{ m}$$

– **Coefficiente de bloque, CB.**

El coeficiente de bloque vendrá dado por la siguiente fórmula:

$$C_B = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot D \cdot 0,85}$$

excluidos los apéndices, tomado a un calado 0,85 D , siendo calculado por:

$$\Delta_i = \frac{\Delta_T}{1.025} \cdot \left(\frac{d_i}{T} \right)^{\left(\frac{CF}{CB} \right)}$$

D = puntal mínimo de trazado

$$CB = 0.65$$

FRANCOBORDO TABULAR

El buque es tipo A, entrando en las tablas de francobordo se obtiene por medio de la eslora y por interpolación lineal el siguiente francobordo tabular.

$$FB = 3130 \text{ mm}$$

CORRECCIONES AL FRANCOBORDO TABULAR

Corrección por puntal

Si el puntal de francobordo, D , es superior a $L / 15$ el francobordo deberá aumentarse en:

$$K_D = (D - L/15) \cdot R$$

Nuestro caso lo es, luego:

siendo $R = 250$ para esloras de 120 metros o mayores.

$$K_D = 984,95 \text{ mm}$$

Reducción por superestructuras

En el caso del buque proyecto no hay superestructura en toda la eslora, por tanto, habrá que buscar el porcentaje de superestructura en la eslora, y entrando en tablas de buque A obtenemos el porcentaje de reducción con respecto a la reducción inicial.

Al ser $L \geq 125 \text{ m}$ la altura normal de las superestructuras es de 2,30 m (Regla 33).

Por ser $L \geq 122 \text{ m}$, la reducción por superestructura completa es de 1070 mm.

Esta cantidad se verá reducida en un porcentaje que obtenemos con la tabla contenida en la Regla 37.2 teniendo en cuenta que nuestro buque es de tipo A, con longitud efectiva menor de $0,2L$ (luego interpolamos).

Entramos en esta tabla con la longitud efectiva total de la superestructura.

Así pues, la longitud efectiva, el porcentaje de reducción y la reducción del francobordo por superestructuras, K_S , es:

$$L. \text{ efectiva} = 0.2 L$$

$$\text{Reducción} = 14\%$$

$$K_S = 0,14 \cdot 1070 = 149.8 \text{ mm}$$

Corrección por variaciones respecto a la curva de arrufo normal

	SITUACION	ARRUFO NORMAL	Z (MM)	F	Z * F
Mitad de Popa	Ppp	$25 \cdot (L/3 + 10)$	2056	1	2056
	1/6 L	$11,1 \cdot (L/3 + 10)$	913	3	2739
	1/3 L	$2,8 \cdot (L/3 + 1)$	205	3	615
				Suma	5410

	SITUACIÓN	ARRUFO NORMAL	Z (MM)	F	Z * F
Mitad de Proa	1/3 L	$5,6 \cdot (L/3 + 10)$	461	3	1382
	1/6 L	$22,2 \cdot (L/3 + 10)$	1826	3	5478
	Ppr	$50 \cdot (L/3 + 10)$	4113	1	4113

				Suma	10973
--	--	--	--	------	-------

No posee arrufo:

$$\text{Deficiencia de arrufo en popa} = (0 - 5410)/8 = -676,25 \text{ mm}$$

$$\text{Deficiencia de arrufo en proa} = (0 - 10973)/8 = -1371,625 \text{ mm}$$

$$\text{Deficiencia de arrufo en cbta.} = -(676,25 + 1371,625)/2 = -1024 \text{ mm}$$

Al ser la altura real del castillo en la ordenada extrema superior a la normal se aumentará el arrufo de la cubierta de francobordo en un valor “s” dado por:

$$S = \frac{y}{3} \cdot \frac{L'}{L}$$

s = suplemento de arrufo, a deducir del defecto o añadir al exceso de arrufo.

y = diferencia entre las alturas real y normal del castillo en la ordenada extrema de la línea de arrufo (perpendicular de proa), en milímetros.

L' = longitud media de la parte cerrada del castillo, hasta un máximo de 0,5·L.

L = eslora de francobordo del buque.

En consecuencia será:

$$s = \frac{(3000 - 2300)}{3} \cdot 0.120 = 28 \text{ mm}$$

La deficiencia de arrufo en la cubierta es:

$$\text{Deficiencia de arrufo} = -1024 + 28 = -996 \text{ mm}$$

La corrección por arrufo se obtiene multiplicando el valor anterior por :

$$f = 0,75 - S/(2 \cdot L) = 0.65$$

siendo S la longitud total de superestructuras cerradas.

Por tanto, la corrección por arrufo es:

$$K_A = D_{arrufo} \cdot f$$

$$K_A = -647,4 \text{ mm}$$

FRANCOBORDO GEOMÉTRICO.

Teniendo en cuenta las correcciones anteriores el francobordo geométrico será:

$$FB_g = FB_T \cdot K_{CB} + K_D - K_S + K_A$$

$$FB_g = 1482,55 \text{ mm}$$

Y el calado que le correspondería:

$$T = 18,405 - 1,483 = 16,922 \text{ m}$$

CORRECCIONES AL FRANCOBORDO POR ESCANTILLONADO Y ESTABILIDAD.

El calado de escantillonado del buque para el cual se calcula la resistencia estructural, es de 9,5 m, luego la corrección por escantillón será de:

$$C_{esc} = 16,922 - 9,5 = 7,422 \text{ m}$$

El calado de proyecto, que haremos coincidir con el calado de francobordo, es de

9.5 m (calado a plena carga), luego la corrección por estabilidad será de:

$$C_{\text{estab}}=0 \text{ m}$$

Así pues definitivamente el francobordo de verano:

$$FB_v = FB_{vg} + C_{\text{esc}} + C_{\text{estab}} = 1483 + 7422 + 0 = 8905 \text{ mm}$$

$$T_v = T_{\text{PROYECTO}} = 18,405 - 8,905 = 9,5m$$

FRANCOBORDO TROPICAL

El francobordo mínimo en la zona tropical es el francobordo que resulta de deducir del francobordo de verano 1/48 del calado de verano:

$$FB_T = 8905 - 1/48 * 9500 = \mathbf{8707 \text{ mm.}}$$

$$T_T = 18,405 - 8,707 = 9,7m$$

FRANCOBORDO DE INVIERNO

Será el francobordo de verano incrementado en $T_v/48$:

$$FB_I = 8707 + 1/48 * 9500 = \mathbf{8509 \text{ mm.}}$$

$$T_I = 18,405 - 8.509 = 9,9m$$

El francobordo en invierno para el Atlántico Norte es este último incrementado en 50 mm:

$$\mathbf{FB_{IAN} = 8559 \text{ mm.}}$$

$$T_{IAN} = 18,405 - 8.559 = 9,95 \text{ m}$$

FRANCOBORDO PARA AGUA DULCE

El desplazamiento en agua salada para la flotación de verano es de 44763 Tn y las toneladas por centímetro de inmersión con ese calado resultan 56,3 Tn/cm

El francobordo será:

$$\mathbf{FB_{AD} = FB_v - 44763/(4 * 56,3) = 8706 \text{ mm.}}$$

$$T_{AD} = 18,405 - 8,706 = 9,7 \text{ m}$$

El francobordo para agua dulce tropical será:

$$\mathbf{FB_{ADT} = 8706 - (T_v/48) = 8508 \text{ mm.}}$$

$$T_{ADT} = 18,405 - 8508 = 9,9 \text{ m}$$

6. CÁLCULO DEL ARQUEO

Para el cálculo del Arqueo del buque se seguirá el Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques del 23 de Junio de 1969.

Los datos necesarios para el cálculo del Arqueo son:

Volumen de todos los espacios bajo cubierta (V)	95115 m ³
Volumen de los espacios de carga (Vc)	50242 m ³
Puntal de trazado (D)	18,39 m
Calado de trazado (d)	9,5 m
Pasajeros en camarotes de menos de 8 personas	30
Resto de pasajeros	0

3.1. ARQUEO BRUTO

El arqueo bruto es, por fórmula:

$$\mathbf{GT = (0,2 + 0,02 \cdot \log V) \cdot V = 28493 \text{ GT}}$$

3.2. ARQUEO NETO

La fórmula del arqueo neto es:

$$\mathbf{NT = K_2 \cdot V_c \cdot (4 \cdot d / 3 \cdot D)^2 + K_3 \cdot (N_1 + N_2 / 10) = 7152 \text{ NT}}$$

donde:

$$V_c = \text{Volumen total de los espacios de carga} = 50242 \text{ m}^3$$

$$K_2 = 0,2 + 0,02 \cdot \log V_c = 0,294$$

$$K_3 = 1,25 \cdot (GT + 10000) / 10000 = 4,811$$

Y donde se deben cumplir las siguientes condiciones:

1).- $(4 \cdot d/3 \cdot D)^2$ no se tomará mayor de 1 $\Rightarrow (4 \cdot d/3 \cdot D)^2 = 0,4744$

2).- $K_2 \cdot Vc \cdot (4 \cdot d/3 \cdot D)^2$ no se tomará inferior a $0,25 \cdot GT \Rightarrow K_2 \cdot Vc \cdot (4 \cdot d/3 \cdot D)^2 = 7007,7$
 $\Rightarrow 0,25 \cdot GT = 7123.28$

3).- NT no se tomará inferior a $0,30 \cdot GT \Rightarrow 0,3 \cdot GT = 8548$

El arqueo neto resulta por tanto:

$$NT = 7152 \text{ NT}$$

7. PUNTO DE INUNDACIÓN PROGRESIVA.

El punto de inundación progresiva será aquel punto de la estructura del barco que en el caso de estar sumergido en una condición de equilibrio pueda dar lugar a una inundación no restringida.

Los puntos de inundación progresiva son aberturas no estancas a la intemperie. Esto quiere decir, podrá soportar sin filtrar agua una situación de inmersión transitoria como un golpe de mar,... pero no una situación de inmersión permanente. Son puntos que provocarán una inundación progresiva si están sumergidos en el equilibrio y además limitarán el rango de la curva de estabilidad a su ángulo de inundación.

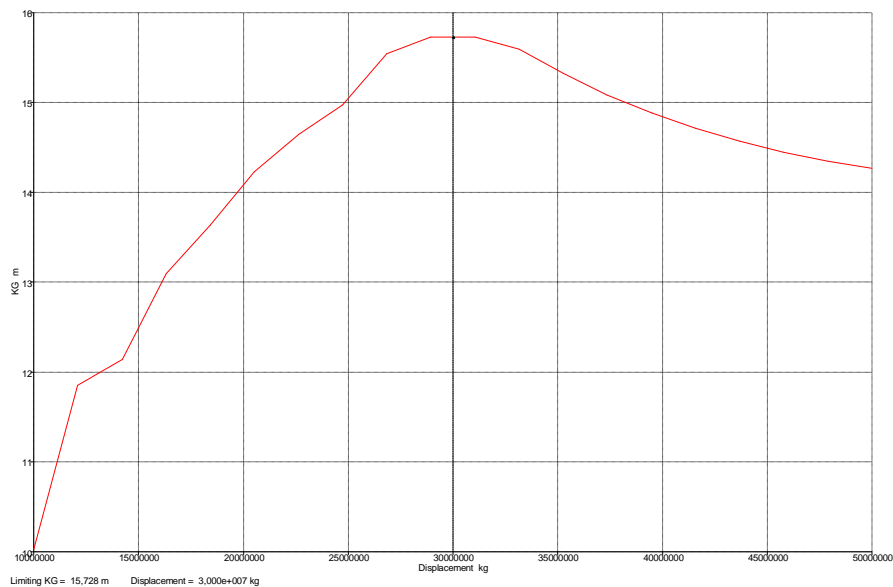
En principio, este punto ha de proyectarse por encima de 40° de escora y preferiblemente de 50°, mejorando la previsión de cumplir los criterios de estabilidad en las distintas condiciones de carga. Sin embargo, no es una condición necesaria estar en estos límites para cumplir los criterios de estabilidad.

Hay que destacar, que al considerar éste el punto de inundación progresiva, las aberturas que existan por debajo de ésta deberán ser estancas como son: escotillas, aberturas en espacio de máquinas, puertas, portillos, tomas y descargas, ventiladores, tubos de aireación y dispositivos de sondeo.

En nuestro caso, el punto ha sido situado en una puerta en el costado de la superestructura sobre la cubierta, la cual está a una altura de 30 m; la posición longitudinal es 45 m y la semimanga es de 12 m.

Curva KG máximo

Desplazamiento kg	KG - m
50000000	14,266
47894737	14,345
45789474	14,447
43684211	14,571
41578947	14,711
39473684	14,883
37368421	15,087
35263158	15,323
33157895	15,591
31052632	15,731
28947368	15,725
26842105	15,54
24736842	14,975
22631579	14,646
20526316	14,228
18421053	13,637
16315789	13,097
14210526	12,144
12105263	11,854
10000000	10,026

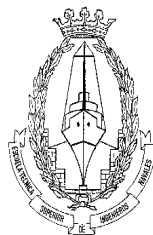


PROYECTO FIN DE CARRERA N°1564

LNG MEMBRANA 51.000 m³

CUADERNO 5

PREDICCIÓN DE POTENCIA. DISEÑO DEL PROPULSOR Y TIMON



ENRIQUE DOPICO

TUTOR: Dn SEBASTIAN ABRIL PÉREZ

1. INTRODUCCIÓN	3
2. POTENCIA PROPULSORA	4
3. PROPULSOR ÓPTIMO	10
4. CALCULO DEL TIMÓN	16
4.2. LÍMITES DE VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO	18
4.2. PROYECTO DEL TIMÓN	19
4.3. ELECCIÓN DEL TIMÓN.....	23
4.5 COMPENSACIÓN , PAR EN LA MECHA Y POTENCIA	26
6.HÉLICE DE MANIOBRA.....	27

1. INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se estimará la potencia propulsora necesaria para alcanzar los 17,5 nudos exigidos y se procederá a la realización del proyecto tanto del propulsor como del timón.

En el primer cuaderno ya se realizó una primera aproximación de la potencia propulsora pero en esta ocasión se disponen de más datos y por lo tanto será más precisa.

El proceso que se ha seguido se describe en los siguientes puntos:

1. Estimación de la potencia necesaria por el método de Holtrop y Mennen con los datos obtenidos en los cuatro primeros cuadernos
2. Una vez obtenida, determinamos el propulsor óptimo teniendo en cuenta los huelgos necesarios que dicta nuestra sociedad de clasificación: Bureau Veritas.
3. A continuación se desarrolla el proyecto del timón hasta la elección del más adecuado cumpliendo los requisitos de la sociedad de clasificación y de maniobrabilidad.

2. POTENCIA PROPULSORA

Para la predicción de potencia se ha utilizado el Método de Holtrop y Mennen y ha sido necesario utilizar las siguientes características del buque, que se han agrupado en las tablas “Características Principales”, “Características del Bulbo de Proa” y “Características del Timón”.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	VALORES
<i>L_{pp}</i>	205,195 m
<i>L_{fl}</i>	205,195 m
<i>B</i>	32,00 m
<i>Desplazamiento en Volumen</i>	43684 m ³
<i>T_{pr}</i>	9.477 m
<i>T_{pp}</i>	9.477 m
<i>T_m</i>	9.477 m
<i>CB</i>	0,702
<i>CM</i>	0,9991
<i>CP</i>	0,709
<i>CF</i>	0,8370
<i>Abscisa del centro de flotación (positivo a proa)</i>	6.571
<i>1/2ang ataque flotación</i>	13.29°
<i>Viscosidad</i>	1.1883 10 ⁶ m ² /s
<i>Densidad</i>	1025 kg/m ³
<i>Rugosidad del casco</i>	150 micras

CARACTERÍSTICAS DEL BULBO DE PROA	VALORES
<i>Área Transversal</i>	22.30 m ²
<i>Altura del centro de gravedad de la sección</i>	4.6 m

CARACTERÍSTICAS DEL TIMÓN	VALORES
<i>1+K₂</i>	1.4
<i>Área</i>	38.91

Siguiendo la teoría de Holtrop y Mennen , la resistencia total al avance del buque se puede descomponer como sigue:

$$R_t = R_f (1+k_1) + R_{app} + R_w + R_b + R_{tr} + R_a \quad ; \text{ donde}$$

R_f = Resistencia de fricción según la ITTC 1957

$(1 + k_1)$ = Factor de forma del casco que corrige la resistencia de fricción

R_{app} = Resistencia de los apéndices

R_w = resistencia generada por la estela

R_b = Resistencia del Bulbo

R_{tr} = Resistencia de la popa

R_a = Corrector de relación modelo-escala real.

Los distintos sumandos se obtienen de las siguientes expresiones:

$$R_f = 0.075 / (\log_{10} Re - 2)^2$$

$$(1+k_1) = 0.93 + 0.487118 C_{14} (B/L)^{1.06806} (T/L)^{0.46106} (L/L_R)^{0.121563} (L^3/\nabla)^{0.36486} (1-C_p)^{-0.604247}$$

$$L_R = L [1 - C_p + 0.06 C_{plcb} / (4 C_p - 1)]$$

Siendo lcb la posición longitudinal del centro de gravedad, a proa de $0.5L$ expresado en % sobre L

C_{14} tiene que ver con las formas de popa, y responde a la expresión

$$C_{14} = 1 + 0.011 C_{popa}, \text{ siendo en este caso } C_{popa} = 0$$

$$R_w = C_1 C_2 C_5 \nabla \rho g E^{[M1F + M4 \cos(\lambda F_n - 2)]}, \text{ al ser } F_n < 0.4, \text{ donde}$$

$$C_1 = 2223105 C_7^{3.78613} (T/B)^{1.07961} (90 - i_e)^{-1.37565}$$

$$C_2 = \exp (-1.89 \sqrt{C_3})$$

$$C_3 = 0.56 A_{bt}^{1.5} [BT(0.31 \sqrt{A_{bt}} + T_F - h_B)]$$

$$C_5 = (1 - 0.8 A_T / (B T C_M))$$

$$R_{app} = 0.5 \rho V^2 S_{app} (1 + K_2)_{eq} C_f$$

$$R_B = 0.11 \exp[-3P_B^{-2}] F_{ni}^3 - 11.5_{BT} \rho g (1 + F_{ni}^2); \text{ donde}$$

$$P_B = 0.56 \sqrt{A_{BT}} / (T_F - 1.5 h_B)$$

$$F_{ni} = V / \sqrt{g(T_F - h_B - 0.25 \sqrt{A_{BT}} + 0.15 V^2)}$$

$$R_{TR} = 0.5 \rho V^2 A_T C_6$$

$$C_6 = 0.2(1 - 0.2 F_{NT})$$

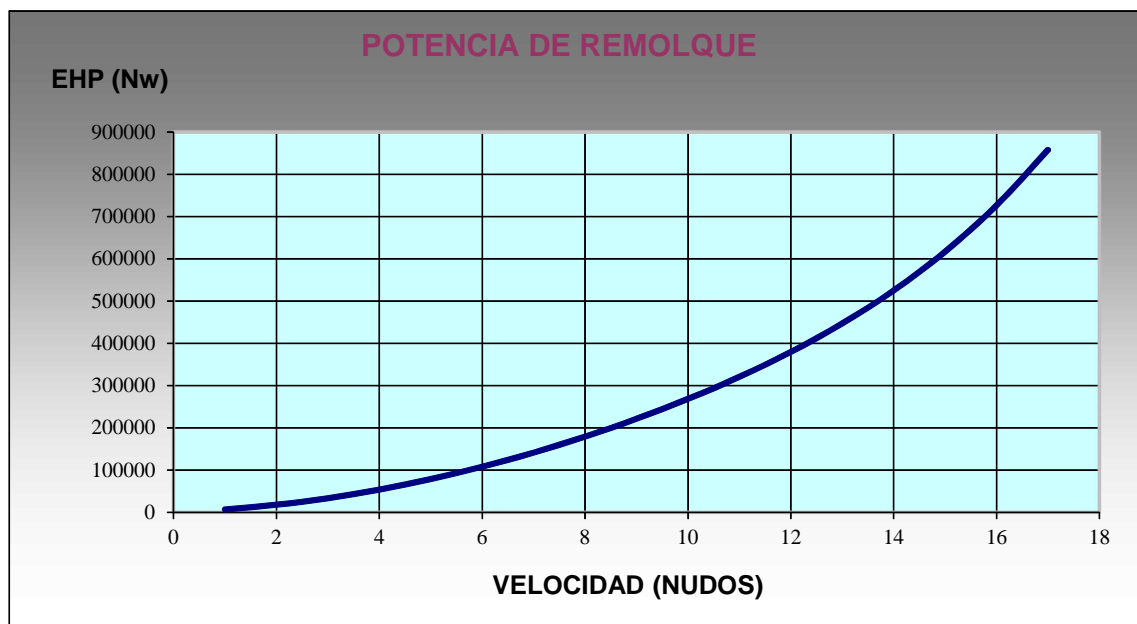
$$F_{NT} = V / \sqrt{(2gA_T/B + BC_{wp})}$$

$$R_A = 0.5 \rho V^2 S C_A$$

$$C_A = 0.006(L+100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003 \sqrt{(L/7.5)} C_B^2 C_2(0.04 - C_4)$$

$$C_4 = 0.004, \text{ al ser } T_F/L > 0.004$$

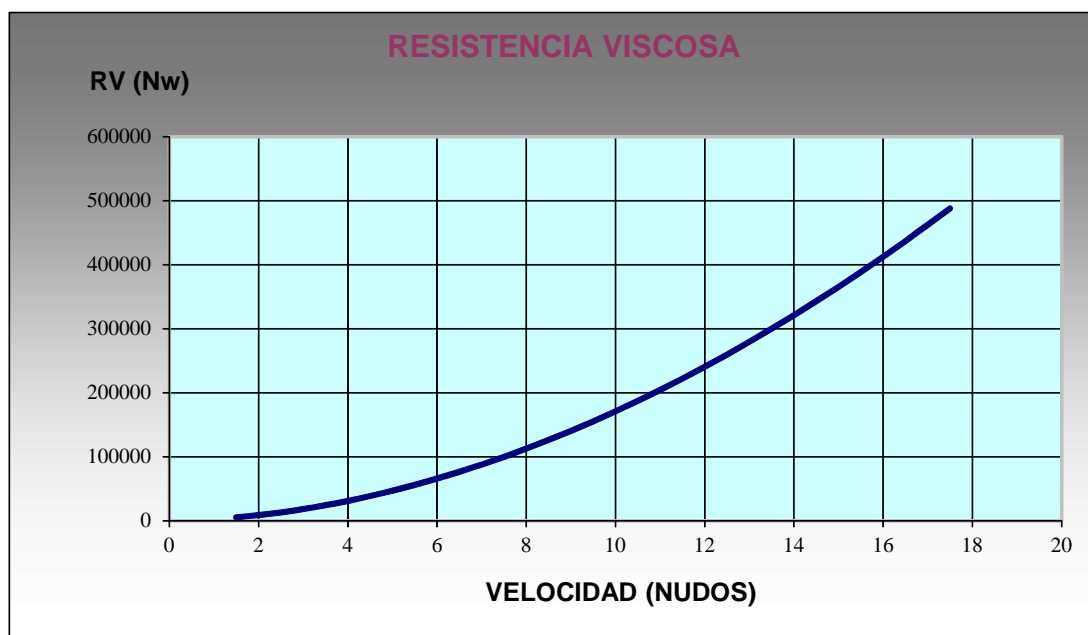
A continuación se muestra la curva de la potencia de remolque (EHP) en CV respecto a al velocidad en nudos calculada con el método indicado.

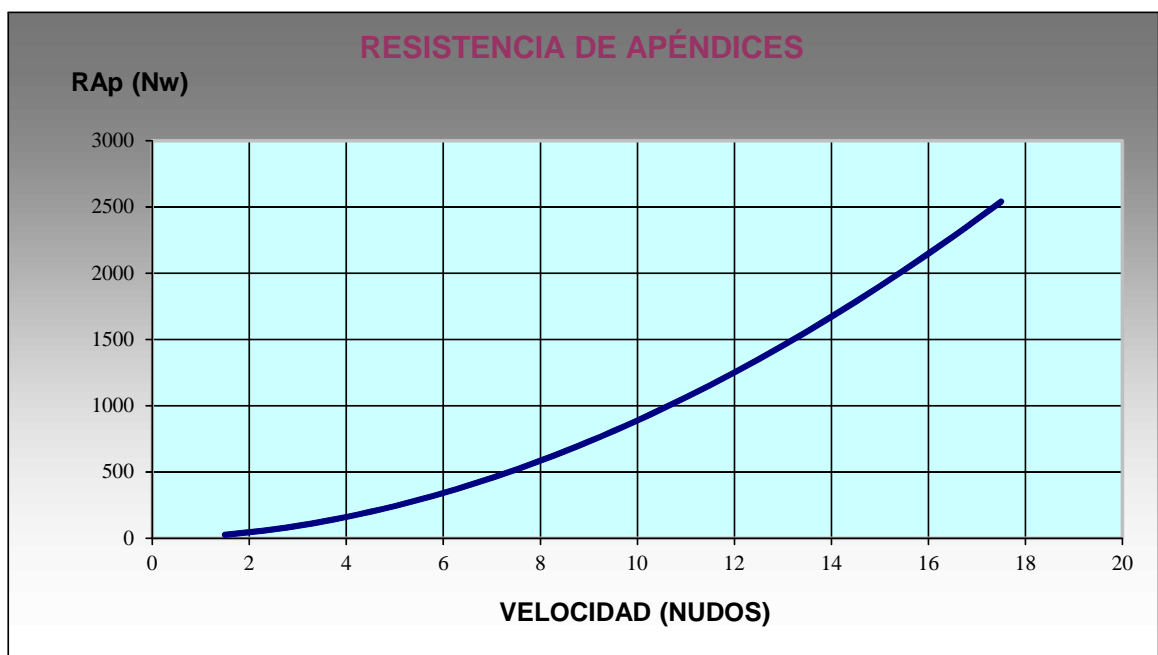


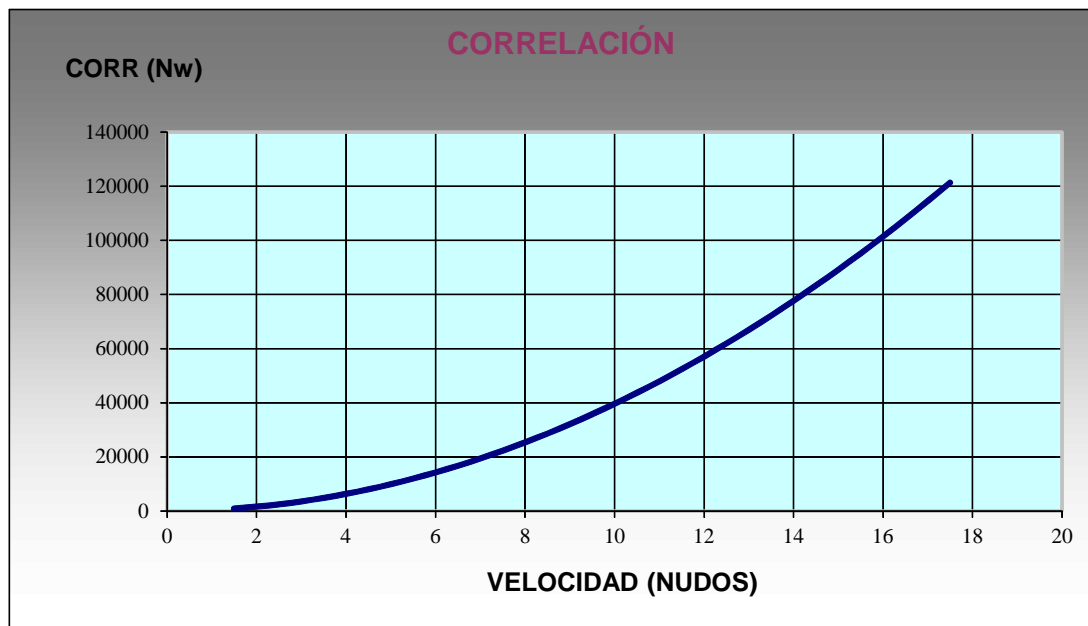
La potencia máxima de remolque es de 10499 CV; es decir EHP = 10499 CV

A continuación se proporcionan también las representaciones de la Resistencia Viscosa, la Resistencia por Formación de Olas, la Resistencia de Apéndices y la curva de Correlación, según las expresiones anteriores.

La Correlación tiene en cuenta la rugosidad, la resistencia al aire y un ajuste a la realidad ya que Holtrop y Mennen obtuvieron sus regresiones a partir de ensayos con modelos.







Se ha considerado un rendimiento mecánico del 98 % y un margen de potencia de 90%.

Además de potencias con el método de Holtrop y Mennen, también se obtienen valores que se van a necesitar para la determinación del propulsor y del timón, así como su rendimiento, como son :

$$W = C_9 C_{20} C_V L / T_A (0.050776 + 0.9340 + C_{11} C_V / (1 - C_{P1}) + 0.27915 C_{20} \sqrt{(B/L(1 - C_{P1}))} + C_{19} C_{20})$$

$$C_8 = BS / (LDT_A)$$

$$C_9 = C_8$$

$$C_{11} = T_A / D, \text{ al ser } T_A / D < 2$$

$$C_{19} = 0.18567 / (1.3571 - C_M) - 0.71276 + 0.38648$$

$$C_{20} = 1 + 0.015 C_M$$

$$C_V = (1 + K) C_F + C_A$$

$$t = 0.25014 (B/L)^{0.28956} (\sqrt{BT/D})^{0.2624} / (1 - C_P + 0.0225 l_{cp}) + 0.0015 C_M$$

$$\eta_R = 0.9922 - 0.05908 A_E / A_O + 0.07424 (C_P - 0.225 l_{cb})$$

De las anteriores expresiones se obtiene

Coeficiente de estela	$w = 0.2982$
Rendimiento rotativo relativo	$\eta_R = 1.012$
Factor de succión	$t = 0.1874$

Así obtenemos ya el rendimiento del casco

$$\eta_H = \frac{1-t}{1-w}$$

$$\eta_H = 1.1579$$

3. PROPULSOR ÓPTIMO

Para la determinación del propulsor se utilizan los polinomios de Oosterveld y Van Oosanen para calcular K_T y K_Q de los propulsores de la serie B del Canal de Wageningen.

La expresión de los polinomios es:

$$\left. \begin{matrix} K_T \\ K_Q \end{matrix} \right\} = \sum_{s,t,u,v} C_{s,t,u,v} \cdot J^s \cdot (P/D)^t \cdot (A_E/A_0)^u \cdot Z^v,$$

siendo P el paso de la hélice, Z es el número de palas y J es el grado de avance del propulsor.

En las tablas de las páginas siguientes aparecen los coeficientes de los polinomios ya comentados.

PARA K_T

<i>C s,t,u,v</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>u</i>	<i>v</i>
0.00880496	0	0	0	0
-0.204554	1	0	0	0
0.166351	0	1	0	0
0.158114	0	2	0	0
-0.147581	2	0	1	0
-0.481497	1	1	1	0
0.415437	0	2	1	0
0.0144043	0	0	0	1
-0.0530054	2	0	0	1
0.0143481	0	1	0	1
0.0606826	1	1	0	1
-0.0125894	0	0	1	1
0.0109689	1	0	1	1
-0.133698	0	3	0	0
0.00638407	0	6	0	0
-0.00132718	2	6	0	0
0.168496	3	0	1	0
-0.0507214	0	0	2	0
0.0854559	2	0	2	0
-0.0504475	3	0	2	0
0.010465	1	6	2	0
-0.00648272	2	6	2	0
-0.00841728	0	3	0	1
0.0168424	1	3	0	1
-0.00102296	3	3	0	1
-0.0317791	0	3	1	1
0.018604	1	0	2	1
-0.00410798	0	2	2	1
-0.000606848	0	0	0	2
-0.0049819	1	0	0	2
0.0025983	2	0	0	2
-0.000560528	3	0	0	2
-0.00163652	1	2	0	2
-0.000328787	1	6	0	2
0.000116502	2	6	0	2
0.000690904	0	0	1	2
0.00421749	0	3	1	2
0.000056229	3	6	1	2
-0.00146564	0	3	2	2

PARA K_Q

$C_{s,t,u,v}$	s	t	u	v
0.00880496	0	0	0	0
-0.204554	1	0	0	0
0.166351	0	1	0	0
0.158114	0	2	0	0
-0.147581	2	0	1	0
-0.481497	1	1	1	0
0.415437	0	2	1	0
0.0144043	0	0	0	1
-0.0530054	2	0	0	1
0.0143481	0	1	0	1
0.0606826	1	1	0	1
-0.0125894	0	0	1	1
0.0109689	1	0	1	1
-0.133698	0	3	0	0
0.00638407	0	6	0	0
-0.00132718	2	6	0	0
0.168496	3	0	1	0
-0.0507214	0	0	2	0
0.0854559	2	0	2	0
-0.0504475	3	0	2	0
0.010465	1	6	2	0
-0.00648272	2	6	2	0
-0.00841728	0	3	0	1
0.0168424	1	3	0	1
-0.00102296	3	3	0	1
-0.0317791	0	3	1	1
0.018604	1	0	2	1
-0.00410798	0	2	2	1
-0.000606848	0	0	0	2
-0.0049819	1	0	0	2
0.0025983	2	0	0	2
-0.000560528	3	0	0	2
-0.00163652	1	2	0	2
-0.000328787	1	6	0	2
0.000116502	2	6	0	2
0.000690904	0	0	1	2
0.00421749	0	3	1	2
0.000056229	3	6	1	2
-0.00146564	0	3	2	2

Los polinomios así definidos se verifican para un número de Reynolds del propulsor de $2 \cdot 10^6$, por lo que deben ser modificados en función del número de Reynolds real del propulsor. Este número se define de la siguiente forma:

$$R_{0,75} = Cr_{0,75} \cdot \frac{\sqrt{(V \cdot (1 - w))^2 + (0,75 \cdot \pi \cdot n \cdot D)^2}}{\nu},$$

donde $Cr_{0,75}$ es la cuerda de la sección 0,75 del propulsor medida en metros, que para la serie B de Wageningen responde a la expresión:

$$Cr_{0,75} = 2,073 \cdot \frac{D}{Z} \cdot \frac{A_E}{A_0}.$$

Los parámetros K_T y K_Q se modifican mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}\Delta K_T = & 0,000353485 - 0,00333758 \cdot (A_E/A_0) \cdot J^2 - \\ & - 0,00478125 \cdot (A_E/A_0) \cdot (P/D) \cdot J + \\ & + 0,000257792 \cdot (\log_{10} R_{0,75} - 0,301)^2 \cdot (A_E/A_0) \cdot J^2 + \\ & + 0,0000643192 \cdot (\log_{10} R_{0,75} - 0,301) \cdot (P/D)^6 \cdot J^2 - \\ & - 0,0000110636 \cdot (\log_{10} R_{0,75} - 0,301)^2 \cdot (P/D)^6 \cdot J^2 - \\ & - 0,0000276305 \cdot (\log_{10} R_{0,75} - 0,301)^2 \cdot Z \cdot (A_E/A_0) \cdot J^2 + \\ & + 0,0000954 \cdot (\log_{10} R_{0,75} - 0,301) \cdot Z \cdot (P/D) \cdot (A_E/A_0) \cdot J + \\ & + 0,0000032049 \cdot (\log_{10} R_{0,75} - 0,301) \cdot Z^2 \cdot (P/D)^3 \cdot (A_E/A_0) \cdot J\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta K_Q = & -0,000591412 + 0,00696898 \cdot (P/D) - \\ & - 0,0000666654 \cdot Z \cdot (P/D)^6 + 0,0160818 \cdot (A_E/A_0)^2 - \\ & - 0,000938091 \cdot (\log_{10} R_{0,75} - 0,301) \cdot (P/D) - \\ & - 0,00059593 \cdot (\log_{10} R_{0,75} - 0,301) \cdot (P/D)^2 + \\ & + 0,0000782099 \cdot (\log_{10} R_{0,75} - 0,301)^2 \cdot (P/D)^2 + \\ & + 0,0000052199 \cdot (\log_{10} R_{0,75} - 0,301) \cdot Z \cdot (A_E/A_0) \cdot J^2 - \\ & - 0,00000088528 \cdot (\log_{10} R_{0,75} - 0,301)^2 \cdot Z \cdot (P/D) \cdot (A_E/A_0) \cdot J + \\ & + 0,0000230171 \cdot (\log_{10} R_{0,75} - 0,301) \cdot Z \cdot (P/D)^6 - \\ & - 0,00000184341 \cdot (\log_{10} R_{0,75} - 0,301)^2 \cdot Z \cdot (P/D)^6 - \\ & - 0,00400252 \cdot (\log_{10} R_{0,75} - 0,301) \cdot (A_E/A_0)^2 + \\ & + 0,000220915 \cdot (\log_{10} R_{0,75} - 0,301)^2 \cdot (A_E/A_0)^2\end{aligned}$$

El rendimiento del propulsor es:

$$\eta_0 = \frac{K_T}{K_Q} \cdot \frac{J}{2\pi}.$$

Una vez determinados todos los rendimientos propulsivos, la potencia al freno, *BHP*, queda perfectamente definida por la expresión siguiente:

$$BHP = \frac{EHP}{\eta_p} = \frac{EHP}{\eta_H \cdot \eta_r \cdot \eta_0 \cdot \eta_m}$$

donde η_m es el rendimiento mecánico de la línea de ejes que se estima en 0,98.

En cuanto al número de palas, se puede destacar que para una misma relación área extendida - área disco el rendimiento del propulsor es mayor cuanto menor sea el número de palas.

Buques parecidos llevan entre 4 y 5 palas, se ha decidido imponer un número de 4 palas.

Hay cuatro parámetros que determinan de la potencia del motor: n , A_E/A_0 , P y D .

Al conocer la resistencia y el coeficiente de succión sabemos también el empuje T .

$$t = \frac{T - R}{T} \Rightarrow T = \frac{R}{1 - t}$$

A_E/A_0 se fija mediante el criterio de cavitación, el rendimiento del propulsor aumenta al disminuir dicha relación pero hay que tener en cuenta que la reducción está restringida por la cavitación.

Se utiliza como criterio de cavitación el criterio de Keller.

$$\frac{A_D}{A_0} = \frac{(1.3 + 0.3Z) \cdot T}{(P_0 - P_v) \cdot D^2} + K$$

Z : N° de palas

T : Empuje de la hélice en este caso en kg

P₀ : Presión estática en el eje.

P_v : Presión de vapor del agua a 15°C

P₀ - P_v : 10100 + 1026 h kg/m²

h : Inmersión de la línea de ejes, m.

D : Diámetro de la hélice, m

K : 0.15 Buques de una hélice.

Conocido el empuje, el diámetro, la relación A_E/A_0 y el paso diámetro del propulsor, las revoluciones se obtienen a partir de la curva $K_T/J^2 - J$.

Para un rango de revoluciones se dibuja la curva o se obtienen los datos y basta determinar el valor de K_T/J^2 en función de estos datos, para conocer su correspondiente grado de avance, J , obteniéndose así las revoluciones de funcionamiento.

Conocidas las revoluciones de funcionamiento del propulsor se evalúan los polinomios K_T y K_Q y se halla η_0 .

Con este valor se determina el rendimiento propulsivo que se ha de maximizar para distintas relaciones paso - diámetro y distintos diámetros.

Para el caso en el que se ha obtenido el rendimiento máximo y teniendo en cuenta los huelgos de las sociedades de clasificación se obtienen los resultados mostrados en la siguiente tabla , que corresponden a una hélice de paso no controlable.

<i>CARACTERÍSTICAS</i>	<i>VALORES</i>
<i>Diámetro (m)</i>	7.5
<i>Número de Palas</i>	4
<i>RPM</i>	62
<i>AE/AO</i>	0.46
<i>P/D</i>	1.31
<i>KT</i>	0.26616064
<i>KQ</i>	0.05586047
<i>J</i>	0.84779698
<i>T (N)</i>	925866
<i>Coeficiente de estela</i>	0.2982
<i>Coeficiente de succión</i>	0.1874
<i>Rendimiento del casco</i>	1.1579
<i>Rendimiento propulsor aislado</i>	0.6241
<i>Rendimiento rotativo relativo</i>	1.012
<i>Rendimiento mecánico</i>	0.98
<i>Rendimiento total</i>	0.73

4. CALCULO DEL TIMÓN

El dimensionamiento del timón se realizará siguiendo la tesis doctoral de D. Antonio Baquero "Proyecto de Timones Marinos" y la publicación número 123 del canal de experiencias hidrodinámicas del Pardo "Maniobrabilidad del Buque Pesquero" también de D. Antonio Baquero.

El siguiente cuadro muestra una explicación simplificada de los aspectos que se consideran en la maniobrabilidad.

CUALIDAD DE MANIOBRABILIDAD	MANIOBRA REPRESENTATIVA	PARÁMETROS / MAGNITUDES REPRESENTATIVAS
<i>Facilidad de evolución</i>	Círculo de evolución	Diámetro de giro (D _G) y Diámetro Táctico de Evolución (D _T)
<i>Estabilidad de ruta</i>	Espiral	Ancho del ciclo de histéresis (a)
		Índice de Nomoto (T)
<i>Facilidad de cambio de rumbo</i>	Zigzag	Número de Norbin (P)
		Avance (ADV _C)

La facilidad de evolución es la capacidad del buque para responder ante acciones del timón cuando se desea cambiar el rumbo.

Para buques cuyo coeficiente de bloque es menor o igual que 0,6, el valor de D/Lpp debe ser como máximo 3,2, y si el coeficiente de bloque es mayor o igual que 0,8, D/Lpp será a lo sumo 4,2.

Para valores intermedios se interpola :

$$D_{GIRO}/L_{pp} \leq 7,2 - 5 \cdot CB.$$

$$L_{pp} = 205.2 \text{ m}$$

$$CB = 0.702$$

por lo tanto:

$$D_{GIRO} \leq 757 \text{ m}$$

La estabilidad de ruta es la capacidad para mantener el rumbo determinado actuando sobre el timón si es preciso.

Se considera que el buque posee estabilidad de ruta si la anchura del ciclo de histéresis de la espiral de Dieudonné no es superior a 4°, luego que $1/T$ (n° de Nomoto) sea mayor que 0,305.

La facilidad de cambio de rumbo es la posibilidad de realizar un cambio moderado de rumbo y/o trayectoria en el menor espacio y con la mayor rapidez posible.

La relación Avance/Lpp ha de ser menor o igual a 4,2 para cualquier tipo de buque.

$$\text{Avance}/L_{pp} \leq 4,2$$

$$A_v \leq 923 \text{ m}$$

El Número P de Norbin, que es el ángulo de rumbo girado por unidad de ángulo de caña empleado, cuando el buque ha navegado una eslora desde el accionamiento del timón. El valor del número debe ser mayor que 0,2.

4.2. LÍMITES DE VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO

<i>PARÁMETROS</i>	<i>LÍMITES DE VARIACIÓN</i>
<i>ALTURA DEL TIMÓN (h)</i>	$\leq 0.86 H = 7.74$
<i>RELACIÓN DE ALARGAMIENTO (λ)</i>	1.4 - 2
<i>RELACIÓN DE ESPESOR (t/c)</i>	0.15-0.23

H es la altura de la mecha del timón sobre la línea de base, que tiene un valor de 9m.

4.2. PROYECTO DEL TIMÓN

El proyecto se realizará con la resolución de las siguientes fórmulas:

$$\lambda = h / c$$

$$A_R = h \cdot c$$

$$\left(\frac{\partial F_t}{\partial \delta} \right)_{35^\circ} = \left(\frac{C_{FT}}{\delta} \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_R \cdot V^2 \cdot (1-w)^2$$

$$\frac{C_{FT}}{\delta} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda}{\lambda + 2,55} \cdot \left(1 + 0,35 \cdot \frac{t}{c} \right) \cdot \left(1 + \frac{8 \cdot K_T}{\pi \cdot J^2} \cdot \frac{D}{h} \right) \cdot \frac{CB + 0,3}{1 + 1,214 \cdot \left(1 - e^{-0,3 \cdot \frac{K_T}{J^2}} \right)}$$

$$D_{GIRO} = \frac{0.048}{\sin(2\delta)} \cdot \frac{L}{B} \cdot \frac{1}{CB^2} \cdot \frac{\Delta \cdot V^2}{\left(\frac{\partial F_n}{\partial \delta} \right) \cdot L} \cdot \left(1 + 25 \cdot \frac{TA - TF}{L} \right)$$

$\left(\frac{\partial F_n}{\partial \delta} \right)$: Fuerza normal en el timón por unidad de ángulo

$\frac{C_{FT}}{\delta}$: Coeficiente adimensional de fuerza transversal por unidad de ángulo en radianes

t : Espesor máximo del timón.

h : Altura del timón.

c : Cuerda media.

D : Diámetro de la hélice.

TA : Calado a popa.

TF : Calado a proa.

V : Velocidad del buque en m/s.

Imponiendo el diámetro de giro máximo admisible, ya calculado, resolviendo el sistema queda una ecuación de con dos incógnitas h y λ .

Si calculamos varios timones variando el parámetro λ , hallamos la altura del timón, se obtiene una ecuación de segundo grado de la una solución es negativa y no válida por tanto.

Si es $h \geq 0,86H$ se asigna $h = 0,86H$ y obtendremos de la misma forma λ (que tendrá que estar dentro del margen ya establecido).

Tras este proceso de cálculo se comprueba el criterio mínimo de estabilidad de ruta,

$$a \leq 4^\circ$$

Lo comprobamos con las siguientes fórmulas:

$$F = \left(\frac{C_{FT}}{\delta} \right) \cdot (1 - w)^2 \cdot \frac{A_R}{L \cdot T_m} \cdot \frac{L/B}{CB^2} \cdot \left(1 + 25 \cdot \frac{TA - TF}{L} \right)$$

Aplicación de las fuerzas en la carena :

$$\frac{l_1}{L} = 0,27 + 0,258 \cdot (F + 0,38)^{0,39}$$

Distancia del punto de aplicación al centro de gravedad:

$$d_1 = \frac{l_1}{L} - \left(0,5 + \frac{X_{cc}}{L} \right)$$

$$G = 0,0193 \cdot \frac{L}{B} \cdot \frac{1}{CB^2} \cdot \left(1 + 25 \cdot \frac{TA - TF}{L} \right)$$

$$\frac{1}{T} = \frac{d_1}{K_I^2 + K_J^2} \cdot (1 + G)$$

$$a = 18,12 - \frac{46,43}{T}$$

KI : Radio de inercia de masas del buque alrededor de un eje vertical que pasa por el centro de gravedad, está medido en esloras.

KJ: Radio de inercia de agua arrastrada, depende de la geometría de la carena. Se estima a partir del gráfico de Motora.

Tm: Es el calado medio.

Si $a \geq 4^\circ$ no se cumple el criterio y por lo tanto el timón habría que proyectarlo según el criterio de estabilidad de ruta; es decir hacemos a igual a 4° y se realiza el mismo mecanismo obteniendo h variando λ , o bien haciendo $h = 0.86 H$ y obteniendo λ

Debe comprobarse después que el buque posee unas cualidades mínimas de cambio de rumbo.

$$K'_m = T \cdot 0,325 \cdot \frac{(F_t/\delta) \cdot L}{\Delta \cdot V^2} \cdot \frac{1}{K_I^2 + K_J^2}$$

se obtiene el valor del índice P, número de Norbin

$$P = K'_m \cdot \left(1 - T + T \cdot e^{-\frac{1}{T}} \right)$$

En la siguiente expresión se evalúa la pérdida de velocidad en un giro a 13,7° de ángulo de timón,

$$\frac{V_{final}}{V_{inicial}} = \sqrt[3]{\frac{1}{1 + U \cdot \left(\frac{13,7}{57,3} \right)^2}}$$

$$U = \frac{I}{C_T \cdot S} \cdot \left(m \cdot \frac{\nabla}{L} \cdot \frac{8}{D_G^2} + \frac{C_{FT}}{\delta} \cdot A_R \cdot (1 - w)^2 \right)$$

$$m = 0,14 + 3,06 \cdot (CB - 0,4)$$

$$C_T \cdot S = \frac{R_A}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2}$$

Para calcular el avance se utiliza la siguiente ecuación:

$$AVC = 1,17 \cdot t'_1 + 2,33 \cdot \sigma + 3,1 \cdot e^{-1,11 \cdot \sigma}$$

$$\sigma = \frac{1}{P} \cdot \left(\frac{V_{final}}{V_{inicial}} \right)_{13,7^\circ}$$

$$t'_1 = t_1 \cdot \frac{V}{L}$$

t₁ es el tiempo que tarda el timón en llegar de 0° a 13,7°, se puede aplicar que para 70° los requisitos son que el timón no tarde más de 28s luego t₁ tendrá un valor de 5.48 s o menos.

$$\left(\frac{Avance}{L} \right)_{35^\circ} = \frac{AVC}{\sqrt{3,5}} = \frac{AVC}{1,87}$$

Finalmente se calcula el ángulo para el cual se produce desprendimiento de capa límite perdiendo por lo tanto fuerza aplicada en el timón, como es lógico el timón diseñado ha de tener este desprendimiento para ángulos superiores a 35° que es lo mínimo que las reglas nos exigen que gire a cada banda.

$$\delta_s = 7,11 \cdot (1 + 7,0 \cdot t/c) \cdot \left(1 + \frac{1,25}{\lambda} \right) \cdot \left(1 + 0,048 \cdot \sqrt{\ln \left(1 + \frac{8 \cdot K_T}{\pi \cdot J^2} \right)} \right) \cdot \frac{h}{D}$$

Se tendrá en cuenta que el Diámetro Táctico de Evolución (D_T) sea menor de la distancia que resulta de multiplicar la eslora entre perpendiculares por cinco.

El Diámetro Táctico de Evolución se calcula con la siguiente fórmula obtenida en "El Proyecto Básico del Buque Mercante", a partir del Diámetro de Giro (D_G), la eslora y la velocidad.

$$DT = L_{pp} \cdot \left(0,91 \cdot \frac{DG}{L_{pp}} + 0,234 \cdot \frac{V}{\sqrt{L_{pp}}} + 0,675 \right)$$

4.3. ELECCIÓN DEL TIMÓN

De entre todas las alternativas posibles se seleccionan aquellos que cumplan todos los requisitos. Entre todos se elige el timón que proporciona menor área y área de deriva (A_R/LT %) y es el que da un mayor coeficiente de fuerza transversal.

CARACTERÍSTICAS DEL TIMÓN	
Altura (h)	7.64 m
Relación de alargamiento (λ)	1.5
Cuerda	5.09 m
Área Proyectada	38.9 m²
Ángulo de desprendimiento (°)	36
Relación de Espesor (t/c)	0.23
Centro de Presiones a 35 ° adimensional (x/c)	0.2944
Área de deriva	2.00 %
Coeficiente de Fuerza Transversal	3.66

Con este timón nos calculamos el centro de presiones en función de la cuerda media, c, (δ se expresa en grados):

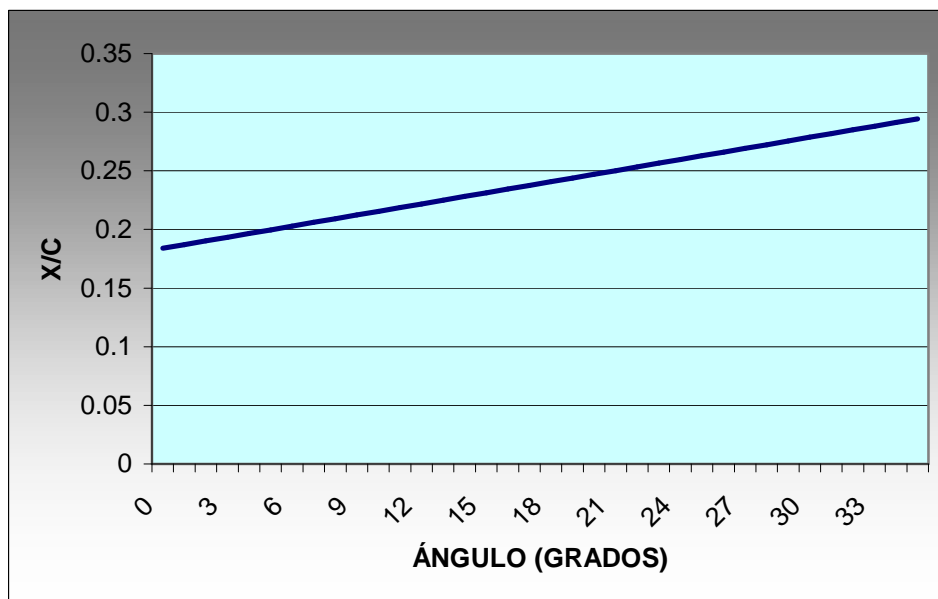
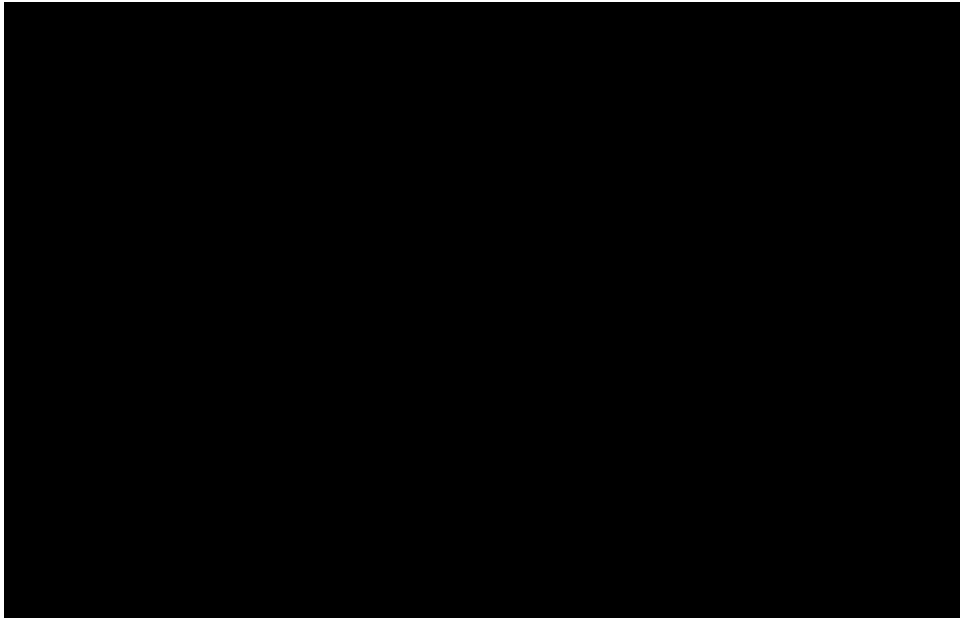
$$\frac{x}{c} = A + B\delta$$

$$A = \frac{(0.35t/c + 0.29)\lambda}{(\lambda + 1.4) \cdot (1 + 0.67 \cdot (1 - e^{-0.175KT/J^2}))}$$

$$B = \frac{0.0217}{\lambda + 0.67} \cdot (1.033 - 3.1 \cdot t/c - 0.0683 \cdot (1 - e^{-0.175KT/J^2}))$$

PARÁMETROS DE MANIOBRABILIDAD	
Diámetro de Giro (DG)	703 m
Diámetro Táctico de Evolución (DT)	806 m
Avance (AV)	470 m
Caída o Transferencia (TRANSF)	387 m
Ancho del ciclo de histéresis	4°
Número de Nomoto (1/T)	0.304
Número de Norbin (P)	0.268

A continuación se representan las fuerzas normales y la posición adimensionalizada del centro de presiones para cada ángulo hasta los 35 grados.



4.5 COMPENSACIÓN, PAR EN LA MECCHA Y POTENCIA

Para estudiar la compensación hay que tener en cuenta, como ya se ha indicado, que el área de compensación no sobrepase el 25% del área del timón, y también que para ángulos de timón normales en navegación (15°) se tenga pares bajos y no muy altos para 35°.

En el Anexo I se obtienen para varios porcentajes de área compensada los valores del par en la mecha para cada ángulo (desde 0 a 35 grados).

$$Q = Fn \cdot \left[\frac{x}{c} - \frac{x_0}{c} \right] \cdot c$$

Se calcula la potencia con el par máximo y teniendo en cuenta que el timón debe girar desde 35 grados de una banda hasta 30 grados de la otra banda en 28 segundos. Este giro implica una velocidad angular (w) de 0.045 rad/s. La potencia se calcula con la siguiente fórmula:

$$P = Q \cdot w / (\eta_{sv} 1000 \eta_e)$$

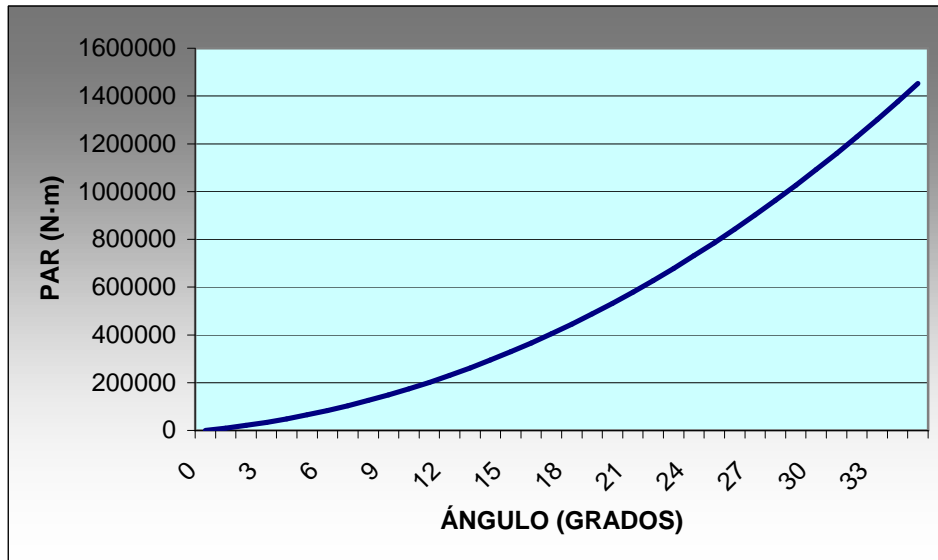
Se consideran el rendimiento η_{sv} del servomotor (de 70 %) y η_e el rendimiento eléctrico (de 90%).

Para cada compensación también se expone esta potencia en el Anexo 2.

Con los criterios descritos se selecciona finalmente:

- Compensación: 15 %
- Potencia necesaria del servo: 104 KW

A continuación se representa el par obtenido para cada ángulo con esta compensación.



6. HÉLICE DE MANIOBRA

Para determinar el empuje de la hélice de proa utilizamos la siguiente fórmula:

$$\text{Empuje} = F \cdot L_{pp} \cdot T$$

L_{pp} : Eslora entre perpendiculares, 205.2 m.

T : Calado , 9.48 m

F : Constante en kN / m² que relaciona el empuje necesario con la superficie de la obra viva.

El valor de F se puede obtener de la gráfica de la página 611 del libro “El Proyecto Básico del buque Mercante”

$$F = 0.09 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Empuje} = 175 \text{ KN}$$

Con un valor normal de 11,5 kg por HP del motor accionador tendremos una potencia necesaria del motor de

$$P = 2011 \text{ HP}$$

Con un rendimiento del motor eléctrico de 0,96 tenemos que:

$$P = 1538 \text{ KW}$$

Con estos valores la velocidad de giro del buque viene representada por :

$$\omega = \frac{188}{L_{pp}} \sqrt{F} = 0.270 \text{ °/s}$$

PROYECTO FIN DE CARRERA N°1564

LNG MEMBRANA 51.000 m³

CUADERNO 6

RESISTENCIA LONGITUDINAL



ENRIQUE DOPICO

TUTOR: Dn. SEBASTIAN ABRIL PÉREZ

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	4
3.	MATERIALES.....	5
4.	CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE.....	9
5.	CARGAS GLOBALES EN EL CASCO	10
6.	ACELERACIONES	15
7.	CASOS DE CARGA.....	19
8.	CARGAS LOCALES.....	23
9.	DIMENSIONADO DE ELEMENTOS ESRTUCTURALES	36
10.	MÓDULO RESISTENTE Y MOMENTO DE INERCIA MÍNIMOS. TENSIONES ADMISIBLES	85
11.	CÁLCULO DE MÓDULOS RESISTENTES E INERCIA. TENSIONES.....	86

1. INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se estudia y se define la estructura resistente de manera que se cumplan los requerimientos de Bureau Veritas que es la Sociedad de Clasificación que regula el diseño de este buque.

Los análisis se centran en la sección principal del buque, la cuaderna maestra, que representa a las secciones del cuerpo cilíndrico del casco.

En primer término se describe la estructura y la clasificación de materiales que la sociedad de clasificación describe en sus reglas. Se procede a la selección del material, pues además de sus características mecánicas necesarias para los cálculos de resistencia de la estructura también en las fórmulas del código de Bureau Veritas se distingue para el dimensionado.

Posteriormente se analizan las cargas que sufrirá la estructura, y se dividen en cargas aplicables al estudio de buque viga (momentos flectores, torsor y esfuerzo cortante) y cargas secundarias de carácter local que son las proporcionadas por la mar y los tanques de carga, para estas cargas locales ha sido necesario determinar el campo de aceleraciones del buque en su navegación.

En el caso de cargas para el buque-viga, se ha seleccionado el peor caso ya estudiado en el cuaderno de cálculos de arquitectura. Además, Bureau Veritas distingue otros cuatro casos llamados, “a”, “b”, “c” y “d”. Se han utilizado estos cuatro casos para las cargas secundarias y factorizar las cargas primarias.

A partir de las condiciones impuestas por la sociedad de clasificación (inercia de la cuaderna maestra mínima, módulos resistentes en cubierta y fondo mínimos), de forma iterativa se ha procedido al diseño y cálculo de la sección principal. El proceso ha sido repetitivo porque en las formulas de escantillonado del código, en algunos casos, es necesario conocer las tensiones de buque-viga, por lo que es necesario conocer el momento de inercia y la posición del eje neutro. Para este proceso, engorroso pero necesario, se ha utilizado la

herramienta de Bureau Veritas “MARS2000”, que por su facilidad y precisión en los cálculos de la sección ha hecho esta tarea más asequible.

Finalmente se han chequeado planchas y refuerzos longitudinales para el fallo por pandeo (también para los cuatro casos de carga), de estos últimos como pandeo de columna, y se han obtenido los correspondientes coeficientes de seguridad.

El efecto de la torsión es muy pequeño y proporciona tensiones despreciables, se ha chequeado con “MARS2000” y se le ha dedicado un apartado en este cuaderno, pero se ha decidido omitir la información en el anexo ya que en caso contrario se contaría con gran volumen de información que no aportaría prácticamente nada, ya que las tensiones son menores de cinco Newton por milímetro cuadrado.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Se ha optado por una estructura longitudinal ya que dada la eslora que posee el buque es la mejor configuración.

La estructura transversal (intercostal) está formada en la parte central por cuadernas separadas por 800 mm. Por cada 4 claras se dispone de una varenga que continua en una bulárcama y finalmente en un bao.

Los tanques transportan el gas licuado con el sistema de contención de carga GTT (Gaz Transport & Technigaz) que consiste en una disposición de los tanques de carga de forma prismática, adaptados a la geometría del casco, que se extienden prácticamente de banda a banda. La carga líquida se mantiene prácticamente en el interior a la presión atmosférica. En cambio para mantener esas condiciones de presión, la temperatura del gas deberá ser -163°C . Se dispone para el aislamiento térmico un revestimiento de cajas de madera rellenas de perlita y otra capa más externa compuesta por tracas de invar. (sistema NO96) de pequeño espesor y por tanto muy poco contributivas a la resistencia estructural, razón por la que no se han considerado para tal estudio.

Para conseguir que la temperatura del acero de la estructura no esté por debajo de 5°C, se ha dispuesto en los mamparos transversales un sistema de calefacción de glycol calentado por vapor de agua.

En cuanto a la separación de refuerzos longitudinales, se han optado por perfiles tipo bulbo o “HP”. La separación de estos en ningún caso llega a ser superior al metro.

Se disponen también de vagras, palmejares y esloras de cubierta.

3. MATERIALES

En este apartado se describen los grados, clases y algunas propiedades mecánicas de los aceros que se citan en las reglas de Bureau Veritas.

En las tablas siguientes se pueden consultar estas características.

GRADOS DE ACERO	MÍNIMO LÍMITE ELÁSTICO	RESISTENCIA MECÁNICA
A, B, D y E t ≤ 100 mm	235 N/mm ²	400-520 N/mm ²
AH32, DH32, EH32 t ≤ 100 mm FH32 t ≤ 50 mm	315 N/mm ²	440-590 N/mm ²
AH36, DH36, EH36 t ≤ 100 mm FH36 t ≤ 50 mm	355 N/mm ²	490-620 N/mm ²
AH40, DH40, EH40 t ≤ 100 mm FH40 t ≤ 50 mm	390 N/mm ²	510-650 N/mm ²

Se selecciona para la estructura del buque los aceros A,B,D y E; es decir, no ha sido necesario el empleo de aceros de alto límite elástico.

Para el escantillonado de los elementos estructurales, se define el parámetro “k”, dependiente del material seleccionado, los valores del parámetro se pueden consultar en la siguiente tabla.

MÍNIMO LÍMITE ELÁSTICO	K
235 N/mm ²	1
315 N/mm ²	0,78
355 N/mm ²	0,72
390 N/mm ²	0,68

Para el acero seleccionado el valor de “k” es la unidad.

A continuación en la siguiente tabla se definen las clases de los aceros según su zona y su función estructural.

APLICACIÓN DE LAS CLASES DE MATERIAL		
Categoría del elemento estructural	0.4 L central	Exterior a 0.4 L central
<p>SECUNDARIA</p> <ul style="list-style-type: none"> A1 Traca inferior en mamparo longitudinal que no pertenezca a la estructura primaria. A2 Plancha de cubierta expuesta a la intemperie que no pertenezca a la estructura primaria. A3 Plancha de costado. 	I	A/AH
<p>PRIMARIA</p> <ul style="list-style-type: none"> B1 Plancha de fondo, incluyendo traca de quilla. B2 Plancha de cubierta resistente que no sea especial. B3 Elemento longitudinal continuo sobre cubierta resistente. B4 Traca superior en mamparo longitudinal. B5 Traca superior en tope de tanque lateral y Esloras 	II	A/AH
<p>ESPECIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> C1 Traca de cinta en la cubierta resistente. C2 Refuerzo longitudinal en planchas de cubierta. C3 Plancha de cubierta en mamparo longitudinal C4 Planchas de cubierta de Portacontenedores más allá de las escotillas. C5 Planchas de cubierta de graneleros en esquinas de bodegas C6 Plancha de pantoque C7 Brazolas de escotillas longitudinales de longitud superior a 0,15L o igual o mayores de 90m C8 Escuadras y transiciones de casetas de escotillas longitudinales 	III	II (I Fuera del 0.6L central)

En función de las clases y espesores, se obtienen los grados de acero adecuados. Al no ser alto límite elástico el acero seleccionado, el margen se condiciona a NSS.

ESPESOR mm	CLASES DE MATERIAL					
	I		II		III	
	NSS	HSS	NSS	HSS	NSS	HSS
t<15	A	AH	A	AH	A	AH
15 < t < 20	A	AH	A	AH	B	AH
20 < t < 25	A	AH	B	AH	D	DH
25 < t < 30	A	AH	D	DH	D	DH
30 < t < 35	B	AH	D	DH	E	EH
35 < t < 40	B	AH	D	DH	E	EH
40 < t < 50	D	DH	E	EH	E	EH

NSS: Normal Strength Steel

HSS: Higher Strength Steel

También es necesario definir los a los materiales que sufrirán temperaturas más bajas (5°C), se trata del acero de los tanques de carga (consultar la siguiente tabla).

GRADOS REQUERIDOS PARA MATERIALES EN ZONAS O ADYACENTES A ZONAS REFRIGERADAS				
Temperatura	Espesor en mm	Categoría		
		Secundaria		Primaria y especial
$-10 \leq t < 0$	$t \leq 20$	B	AH	B AH
	$20 < t \leq 25$	B	AH	D DH
	$t > 25$	D	DH	E EH
$-25 \leq t < -10$	$t \leq 20$	B	AH	D DH
	$20 < t \leq 25$	D	DH	E EH
	$t > 25$	E	EH	E EH
$-40 \leq t < -25$	$t \leq 25$	D	DH	E EH
	$t > 25$	E	EH	E EH

4. CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE

Para obtener el escantillonado reglamentario de los distintos elementos, se recuerdan características principales y necesarias del buque para el escantillonado del mismo.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Eslora entre perpendiculares (Lpp)	205.2 m
Eslora de escantillonado (0.97Lpp)	199.0 m
Manga	32.0 m
Puntal	19.0 m
Calado	9.48 m
Coefficiente de Bloque	0.72

5. CARGAS GLOBALES EN EL CASCO

Se consideran las cargas globales a los momentos y esfuerzos que sufre el casco por el empuje (“aguas tranquilas”) y por la acción de las olas (“olas”) si se considera el buque como una viga.

Los valores para los casos de arrufo y quebranto en aguas tranquilas se han obtenido con el programa de arquitectura naval “MAXSURF”, se han utilizado las formas reales del buque para obtener una distribución de esfuerzos cortantes y por tanto de momentos flectores lo más precisos posibles.

Para los cálculos en olas se han utilizado los valores que proporciona la norma.

Momento flector en aguas tranquilas

El momento flector en aguas tranquilas como se ha comentado, se ha calculado con el programa “MAXSURF”. La peor condición de carga, proporciona un momento flector de quebranto de valor:

$$M_{SW,H}(\text{quebranto}) = 3174585 \text{ kNm}$$

Las peores condiciones se obtienen para estados de quebranto, la sociedad de clasificación indica que en estos casos se considere el momento flector de arrufo con valor nulo.

Momento flector en olas

Para la cuaderna maestra el momento flector en olas a adoptar según el reglamento no será menor de:

$$M_{WV,S}(\text{arrufo}) = -110 F_m n C L^2 B (CB+0.7) \cdot 10^{-3} \text{ kNm}$$

$$M_{WV,H}(\text{quebranto}) = 190 F_m n C L^2 B CB \cdot 10^{-3} \text{ kNm}$$

Con:

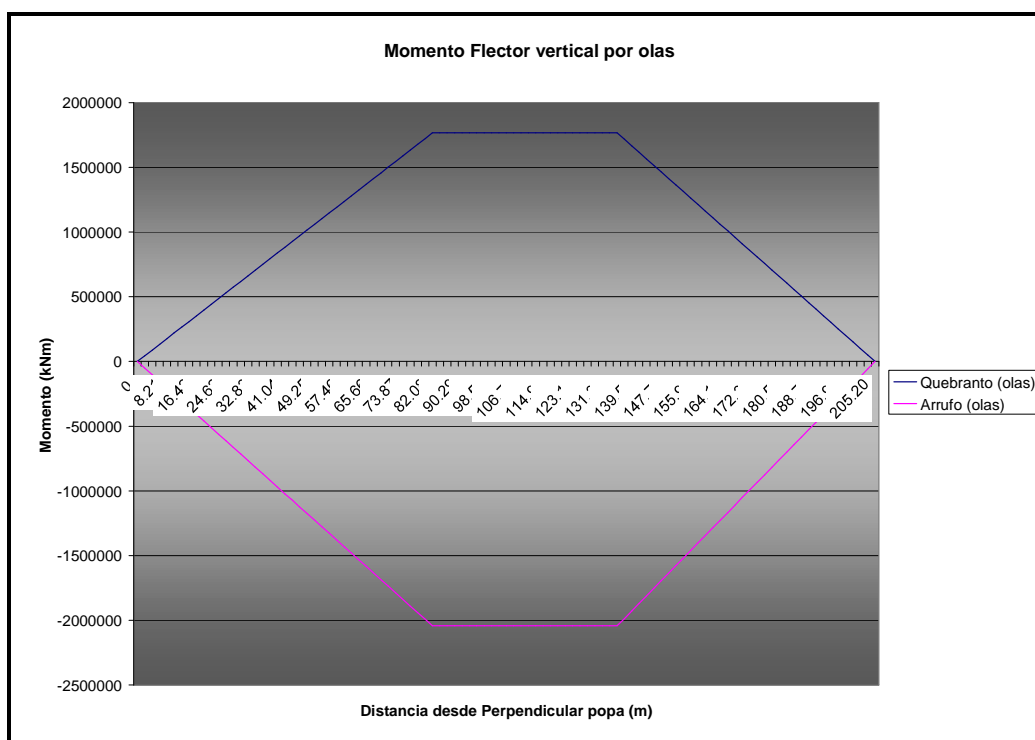
$n = 1.0$ para condiciones no restringidas de navegación

$$C_w = 10.75 - [(300 - L) / 100]^{3/2} = 9.621$$

$$M_{wv,s}(\text{arrufo}) = - 2042045 \text{ kNm}$$

$$M_{wv,H}(\text{quebranto}) = 1766100 \text{ kNm}$$

En la siguiente gráfica se puede apreciar el valor de este momento a lo largo de la eslora.



Esfuerzo cortante en aguas tranquilas

Se ha obtenido con el programa "MAXSURF", siendo su valor en la peor condición de carga seleccionada :

$$Q_{sw} = -53305 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante en olas

Las ecuaciones proporcionadas por Bureau Veritas se expresan a continuación.

Para el esfuerzo cortante positivo, a ser usado cuando el esfuerzo cortante en aguas tranquilas sea positivo:

$$Q_w(+/-) = 30 F_q(+/-) n C L B (CB + 0.7) \cdot 10^{-2} \text{ (kN)}$$

Siendo:

$n = 1.0$ para condiciones no restringidas de navegación

$$C_w = 10.75 - [(300 - L) / 100]^{3/2} = 9.621$$

$$A = 190CB / (110(CB + 0.7))$$

$F_q (+) = 0$ en las perpendiculares de proa y popa

$$= 4.6 \cdot A \cdot x/L \text{ entre } 0 \text{ y } 0.2L$$

$$= 0.92 \cdot A \text{ entre } 0.2 L \text{ y } 0.3 L$$

$$= (9.2 \cdot A - 7) \cdot (0.4 - x/L) + 0.7 \text{ entre } 0.3 L \text{ y } 0.4 L$$

$$= 0.7 \text{ entre } 0.4L \text{ y } 0.6L \text{ entre } 0.4L \text{ y } 0.6L$$

$$= 3 \cdot ((x/L) - 0.6) + 0.7 \text{ entre } 0.6L \text{ y } 0.7L$$

$$= 1 \text{ entre } 0.7L \text{ y } 0.85L$$

$$= 6.67 \cdot (1 - x/L) \text{ entre } 0.85L \text{ y } L$$

$F_q (-) = 0$ en las perpendiculares de proa y popa

$$= - 4.6 \cdot x/L \text{ entre } 0 \text{ y } 0.2L$$

$$\begin{aligned}
 &= -0.92 \text{ entre } 0.2 L \text{ y } 0.3 L \\
 &= -2.2 \cdot (0.4 - x/L) - 0.7 \text{ entre } 0.3 L \text{ y } 0.4 L \\
 &= -0.7 \text{ entre } 0.4L \text{ y } 0.6L \text{ entre } 0.4L \text{ y } 0.6L \\
 &= -(10 \cdot A - 7) \cdot (x/L - 0.6) - 0.7 \text{ entre } 0.6L \text{ y } 0.7L \\
 &= -A \text{ entre } 0.7L \text{ y } 0.85L \\
 &= -6.67 \cdot A \cdot (1 - x/L) \text{ entre } 0.85L \text{ y } L
 \end{aligned}$$

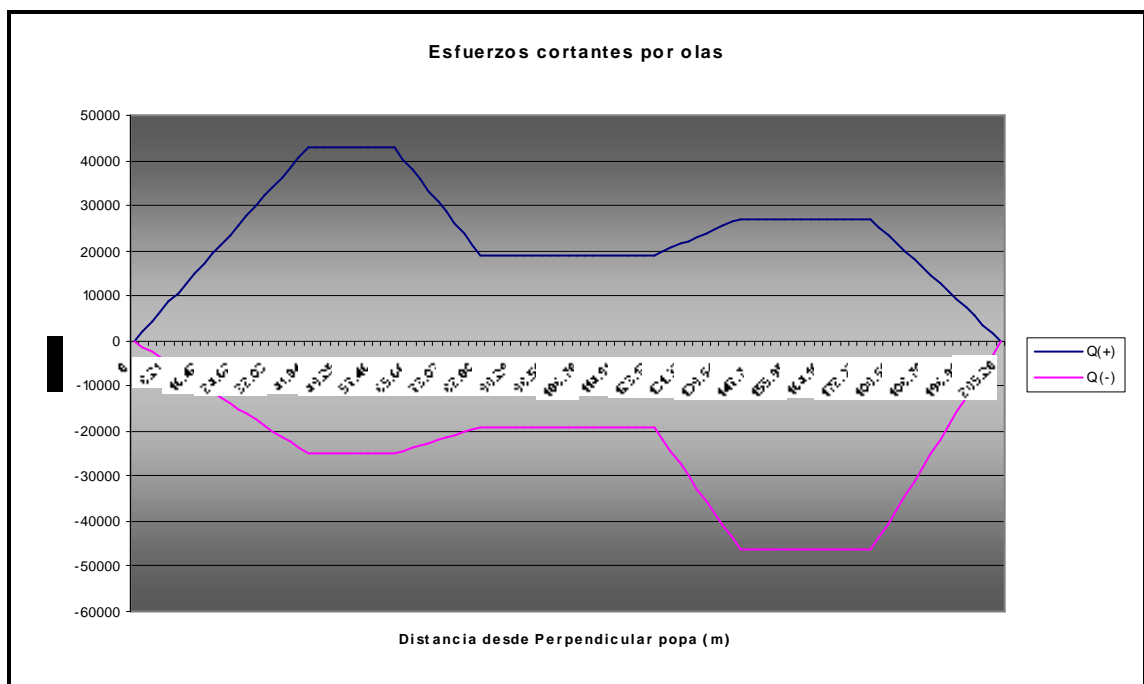
La distribución de ambas cortantes varía linealmente entre los puntos dados.

Los valores máximos obtenidos de los esfuerzos cortantes son:

$$Q_w (+) = 18998 \text{ kN}$$

$$Q_w (-) = -18998 \text{ kN}$$

En la siguiente gráfica se puede apreciar el valor de este momento a lo largo de la eslora.



Momento flector horizontal en olas

El momento flector horizontal en olas se puede aproximar al valor que proporciona la siguiente expresión:

$$M_{WH} = 0.42 F_m n H L^2 T CB = 763551 \text{ kNm}$$

Se ha considerado el valor de F_m en la cuaderna maestra, que es 1.

Momento torsor en olas

El momento flector horizontal en olas se puede aproximar al valor que proporciona la siguiente expresión:

$$M_{WH} = (H \cdot L/4) \cdot n \cdot (F_{TM} \cdot C_M + F_{TQ} \cdot C_Q \cdot d) = 321608 \text{ kNm}$$

Con:

C_M : Coeficiente torsor en olas.

$$C_M = 0.45 B^2 \cdot C_W = 318.98$$

C_Q : Coeficiente de cortadora horizontal en olas.

$$C_M = 5 \cdot T \cdot CB = 33.27$$

C_W : Coeficiente de flotación.

$$C_W = \text{Min}(C_F, 0.165 + 0.95CB) = 0.832$$

d: Distancia desde el centro de cortantes a 0.6T.

F_{TM} : Se definen para dos condiciones, condición 1 y condición 2. En la cuaderna maestra se obtiene el mismo valor

$$F_{TM} = 2$$

F_{TQ} : Se definen para dos condiciones, condición 1 y condición 2. En la cuaderna maestra se obtiene el mismo valor

$$F_{TQ} = 0$$

6. ACELERACIONES

Las aceleraciones que experimenta el buque se pueden expresar en forma de aceleraciones absolutas y relativas.

Aceleraciones absolutas

A continuación se determina la aceleración para cada movimiento y por tanto en los seis grados de libertad del buque.

Largada

La aceleración en dirección longitudinal, “ a_{su} ”, en el movimiento de largada se considera con la siguiente magnitud:

$$a_{su} = 0,5m/s^2$$

Abatimiento

La aceleración en dirección transversal, “ a_{sw} ”, se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$a_{sw} = 0,75 \cdot a_B \cdot g = 1,948m/s^2$$

Con:

$$a_B = n \cdot \left(0,76F + 1,875 \cdot \frac{h_w}{L} \right) = 0,256$$

$$h_w = 11,44 - \left| \frac{L - 250}{110} \right|^3 = 11,372$$

Arfada

La aceleración en dirección vertical, “a_H”, se obtiene con la siguiente ecuación:

$$a_H = a_B \cdot g = 2,513 m/s^2$$

Balance

La amplitud del movimiento de balance, “A_R”, período, “T_R” y la aceleración angular, “α_R”, se expresan y calculan de la siguiente forma:

$$A_R = a_B \cdot \sqrt{E} = 0,584 m$$

$$T_R = 2,2 \cdot \frac{\delta}{GM} = 6,437 s$$

$$\alpha_R = A_R \cdot \left(\frac{2\pi}{T_R} \right)^2 = 0,556 rad/s^2$$

Con:

$$E = 1,39 \cdot \frac{GM}{\delta^2} \cdot B$$

δ: Radio de giro en m.

GM: Distancia del centro de gravedad al Metacentro en m.

Cabeceo

La amplitud del movimiento de cabeceo, “A_P”, período, “T_P” y aceleración angular, “α_P”, se expresan y calculan de la siguiente forma:

$$A_P = 0,328 \cdot a_B \cdot \left(1,32 - \frac{h_w}{L}\right) \cdot \left(\frac{0,6}{C_B}\right)^{0,75} = 0,094m$$

$$T_P = 0,575\sqrt{L} = 8,237s$$

$$\alpha_P = A_P \cdot \left(\frac{2\pi}{T_R}\right)^2 = 0,055rad / s^2$$

Guiñada

La aceleración angular del movimiento de guiñada, “α_P”, se obtiene de la siguiente forma:

$$\alpha_Y = 1,581 \cdot \frac{a_B \cdot g}{L} = 0,019rad / s^2$$

Aceleraciones relativas

Los movimientos relativos definen las oscilaciones de la línea de flotación sobre el buque y se miden desde la flotación al calado máximo (con su signo).

Estos movimientos están acompañados de aceleraciones que son de importancia para la estimación de las cargas secundarias que sufrirá la estructura.

Se consideran condiciones de buque adrizado y también escorado, en el caso de adrizamiento se tienen en cuenta las aceleraciones de arfada, largada y cabeceo; en cambio, en las condiciones de escora las aceleraciones del movimiento de balance, de guiñada y abatimiento.

Hay dos magnitudes fundamentales para el cálculo de las aceleraciones, h_1 y h_2

- h_1 es el valor de referencia, en m, del movimiento relativo del buque en caso de adrizamiento. En la cuaderna maestra se calcula de la siguiente forma:

$$h_1 = \text{Min}[0.42 \cdot n \cdot C \cdot (CB + 0.7), D - 0.9 \cdot T, T_{\text{mínimo}}] = 5.79 \text{ m}$$

- h_2 es el valor de referencia, en m, del movimiento relativo del buque en caso de escora. Para todas las secciones a lo largo del buque se calcula de la siguiente forma:

$$h_2 = 0.5 \cdot h_1 + A_R \frac{B_w}{2}$$

B_w : Manga en la sección considerada en m.

En la cuaderna maestra, el valor de es $h_2 = 12.24 \text{ m}$

Para facilitar las expresiones se ha considerado expresar las aceleraciones en ejes globales del buque. Los resultados y ecuaciones se exponen en la siguiente tabla.

DIRECCIÓN	BUQUE ADRIZADO	BUQUE ESCORADO
X (Longitudinal)	$a_{x1} = \sqrt{a_{su}^2 + (Apg + \alpha_p \cdot (z - T_1))^2}$	$a_{x2} = 0$
Y (Transversal)	$a_{y1} = 0$	$a_{y2} = \sqrt{a_{sw}^2 + (A_R g + \alpha_R \cdot (z - T_1)^2) + \alpha_Y^2 \cdot Kx}$
Z (Vertical)	$a_{z1} = \sqrt{a_H^2 + \alpha_p^2 \cdot K_X \cdot L^2}$	$a_{z1} = \sqrt{0.25 \cdot a_H^2 + \alpha_R^2 \cdot y^2}$
Kx = 0,018; Las aceleraciones se expresan en m/s ²		

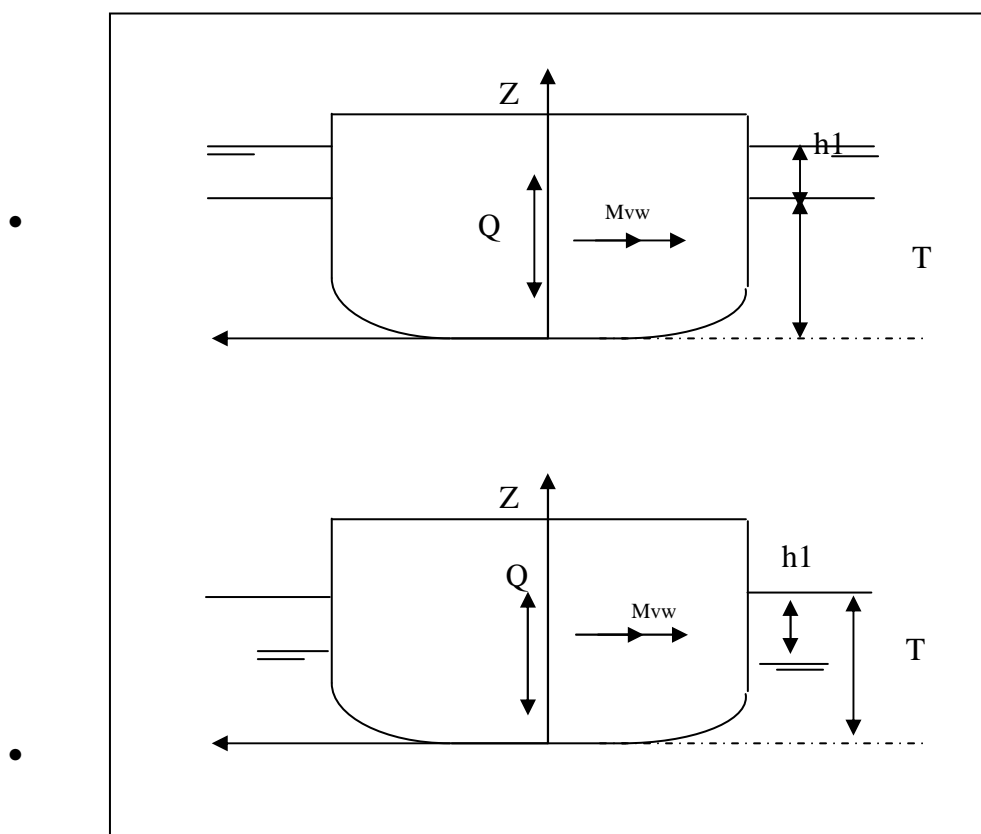
7. CASOS DE CARGA

Para definir parte de las cargas y la metodología de cálculo de la estructura en la cuaderna maestra, se definen en las reglas de Bureau Veritas los casos de carga “a”, “b”, “c” y “d”.

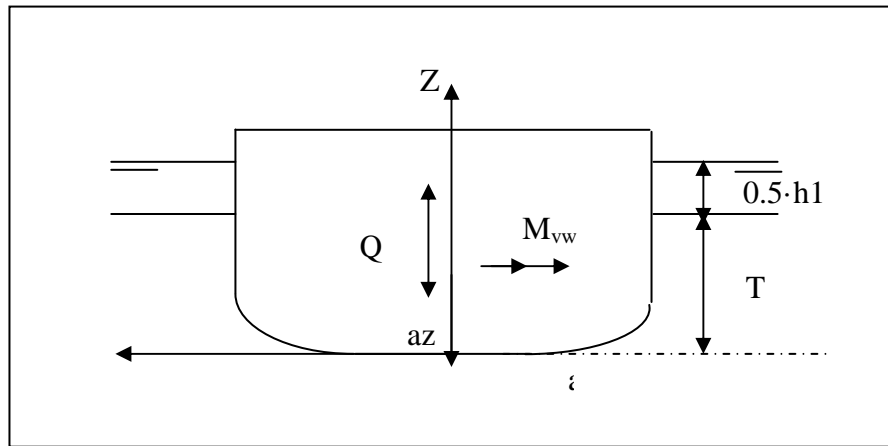
En los casos de carga “a” y “b” el buque está adrizado, en cambio en las condiciones “c” y “d” el buque se considera escorado.

A continuación se muestran unos esquemas en los que se describen los casos de carga, las cargas principales consideradas y la ponderación de éstas. La misma información también está recogida en las tablas siguientes.

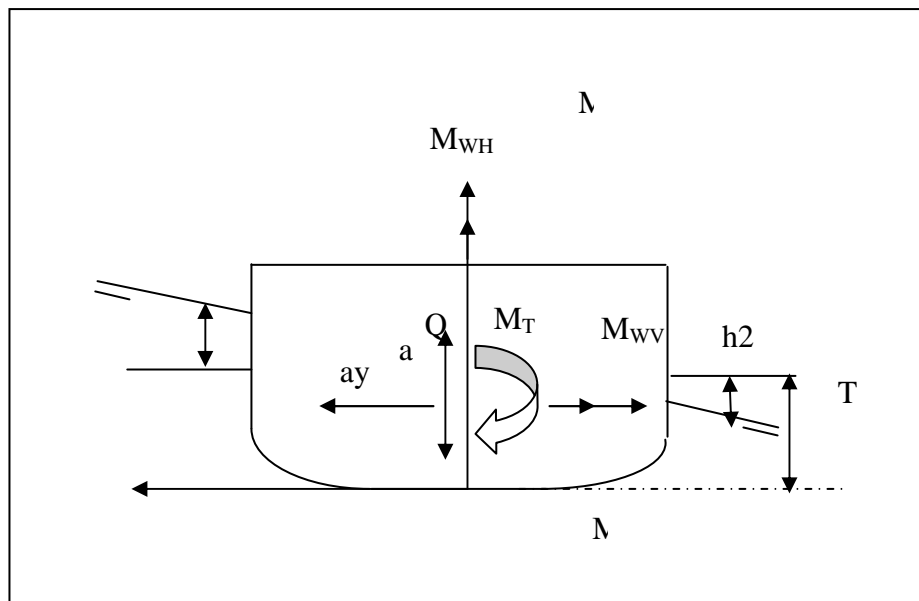
CASO	ESTADO	MOVIMIENTO	ACELERACIÓN
a	Adrizado	h_1	0
b		$0.5 \cdot h_1$	$a_{x1} ; a_{z1}$
c	Escorado	h_2	$0.7 a_{y2} ; 0.7 a_{z2}$
d		$0.5 \cdot h_2$	• $a_{x2} ; a_{z2}$



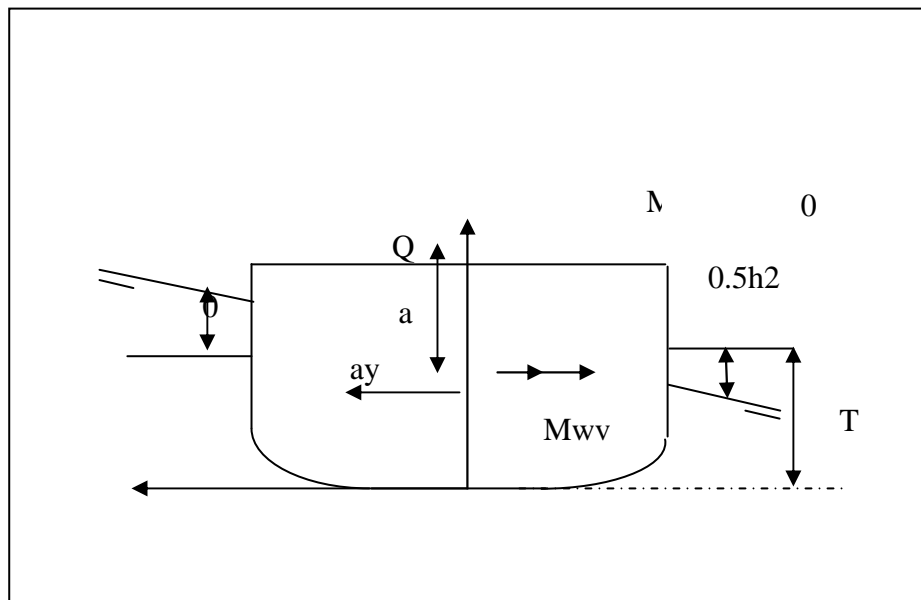
Condición de carga tipo “a”



Condición de carga tipo “b”



Condición de carga tipo “c”



Condición de carga tipo “d”

CARGA	ESTADO	MOMENTO FLECTOR • Aguas Tranquilas	ESFUERZO CORTANTE • Aguas Tranquilas	MOMENTO FLECTOR OLAS	ESFUERZO CORTANTE OLAS	MOMENTO FLECTOR HORIZONTAL OLAS	• Momento Torsor • Olas
a	Adrizado	M_{sw}	Q_{sw}	$0.625 \cdot M_{wv}$	$0.625 \cdot Q_{wv}$	0	0
b		M_{sw}	Q_{sw}	$0.625 \cdot M_{wv}$	$0.625 \cdot Q_{wv}$	0	0
c	Escorado	M_{sw}	Q_{sw}	$0.25 \cdot M_{wv}$	$0.25 \cdot Q_{wv}$	$0.625 \cdot M_{wh}$	$0.625 \cdot M_T$
d		M_{sw}	Q_{sw}	$0.25 \cdot M_{wv}$	$0.25 \cdot Q_{wv}$	$0.625 \cdot M_{wh}$	0

8. CARGAS LOCALES

Las cargas locales que afectan a la estructura se engloban en cargas externas y cargas internas. Las cargas locales de tipo externo están originadas por la acción de la mar, como la presión hidrostática y la acción del oleaje, en cambio, las cargas de carácter interno tienen su origen en la carga transportada, el lastre y el combustible.

Presiones externas

Las presiones de la mar ejercidas sobre la estructura se subdividen en presiones en condiciones de aguas tranquilas y de oleaje.

Presiones en aguas tranquilas

A continuación se describe el estudio en el fondo, costado y cubierta.

Costado y fondo

Para las planchas del costado que estén por encima de la línea de flotación la presión externa es nula, para el resto se calcula con la ecuación de la presión hidrostática.

$$P_s = \rho \cdot g \cdot (T - z) \text{ kN/m}^2$$

La coordenada “z” adquiere valor cero a la cota de la quilla.

Cubiertas

Para el cálculo en la cubierta por la presión por embarque de agua es la siguiente:

$$P_s = 10 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 \text{ kN/m}^2$$

ϕ_2 : Coeficiente de valor la unidad al ser el buque mayor de 120 m.

El valor de ϕ_1 :

Cubierta de francobordo: 1

Cubierta de superestructuras: 0.75

Presiones por oleaje

Las presiones por oleaje también se estudian en el fondo, costado y cubiertas y tienen en cuenta el caso de carga.

Buque adrizado. Condiciones de carga “a” y “b”

Fondo y costado por debajo de la línea de flotación

En caso de que el buque se encuentre en la cresta de la ola, el valor de la presión es:

$$P_w = \rho \cdot g \cdot h \cdot e^{\frac{-2\pi(T-z)}{L}} \text{ kN/m}^2$$

En el caso de que el buque se encuentre en el valle:

$$P_w = -\rho \cdot g \cdot h \cdot e^{\frac{-2\pi(T-z)}{L}} \text{ kN/m}^2$$

El valor de la presión en el seno no será nunca menor del correspondiente presión hidrostática.

Costado sobre la línea de flotación

En caso de que el buque se encuentre en la cresta de la ola, el valor de la presión es:

$$P_w = \rho \cdot g \cdot (T + h - z) \text{ kN/m}^2$$

En la condición de carga “a”, h vale h₁ y además la presión no será inferior al 15% de la eslora; en el caso “b”, h vale 1.5 veces h₁.

En caso de estar en el seno, la presión por olas encima de la línea de flotación es nula.

Cubiertas

En caso de que el buque se encuentre en la cresta de la ola, en la cuaderna maestra el valor de la presión es:

$$P_w = 17.5 n \phi_1 \phi_2 = 22.44 \text{ kN/m}^2$$

En caso de estar en el seno el valor es nulo.

Buque escorado. Condiciones de carga “b” y “c”

Para la definición de las presiones se tiene en cuenta un ángulo negativo de balance y se distingue entre coordenadas y mayores o iguales a 0, o bien menores de 0.

En las ecuaciones expuestas en los siguientes apartados, en la condición de carga “c”, C_{F2} vale 1, y para la condición de carga “d”, C_{F2} vale 0.5.

Fondo y costado por debajo de la línea de flotación

En caso de coordenadas “y” mayores o iguales a 0, el valor de la presión es:

$$P_W = C_{F2} \cdot \rho \cdot g \cdot \left(\frac{y}{B_w} h_1 \cdot e^{\frac{-2\pi(T-z)}{L}} + A_R \cdot y \cdot e^{\frac{-\pi(T-z)}{L}} \right) \text{ kN/m}^2$$

En caso de ser “y” menor que 0:

$$P_W = \text{Max} \left[C_{F2} \cdot \rho \cdot g \cdot \left(\frac{y}{B_w} h_1 \cdot e^{\frac{-2\pi(T-z)}{L}} + A_R \cdot y \cdot e^{\frac{-\pi(T-z)}{L}} \right), \rho \cdot g(T-Z) \right] \text{ kN/m}^2$$

Costado sobre la línea de flotación

En caso de coordenadas “y” mayores o iguales a 0, el valor de la presión es:

$$P_W = \rho \cdot g \cdot \left(T + C_{F2} \left[\frac{y}{B_w} h_1 + A_R y \right] - z \right) \text{ kN/m}^2$$

En la condición de carga “c” la presión no será inferior al 15% de la eslora.

En caso de ser “y” menor que 0, el valor es nulo.

Cubiertas expuestas

En caso de coordenadas “y” mayores o iguales a 0, el valor de la presión es:

$$P_W = 0.4 \cdot \rho \cdot g \cdot \left(T + C_{F2} \left[\frac{y}{B_w} h_1 + A_R y \right] - z \right) \text{ kN/m}^2$$

En la condición de carga “c” la presión no será inferior al $0.15L \cdot \phi_1 \phi_2$.

En caso de ser “y” menor que 0, el valor es nulo.

Presiones internas

Las presiones internas están originadas por la carga líquida, el agua de lastre y el combustible. Pueden ser de tipo estático; es decir, la presión ejercida por el líquido se calcula con la fórmula de hidrostática, o bien pueden ser de origen dinámico, causado por impactos del líquido sobre el tanque o por el fenómeno de chapoteo o “sloshing”.

Para el estudio de estas presiones también es necesario analizar si existe resonancia entre el movimiento del líquido en el tanque y el del buque.

Análisis de resonancia

Las presiones dinámicas internas de impacto y sloshing sólo se considerarán en tanques en los que exista riesgo de resonancia.

La resonancia en el tanque se puede producir por:

- Movimiento de cabeceo del buque con el movimiento longitudinal del líquido en el interior del tanque.
- Movimiento de balance del buque con el movimiento transversal del líquido en el interior del tanque.

Este fenómeno se estudia en caso de tener una tanque lleno entre el 10% de su altura (H) y el 95%.

A continuación se definen variables que se utilizarán para la evaluación del riesgo de resonancia:

l_s : Longitud en m de la superficie libre del líquido medida horizontalmente en sentido longitudinal.

b_s : Longitud en m de la superficie libre del líquido medida horizontalmente en sentido transversal.

l_c : Distancia en m entre mamparos longitudinales.

b_c : Anchura del tanque en m.

T_x : Período natural en s de el movimiento longitudinal del líquido.

$$T_x = \sqrt{\frac{\pi 4 l_s}{g \cdot \tanh \frac{\pi d_f}{l_s}}}$$

T_y : Período natural en s de el movimiento transversal del líquido.

$$T_y = \sqrt{\frac{\pi 4 b_s}{g \cdot \tanh \frac{\pi d_f}{b_s}}}$$

Movimiento de cabeceo

En caso de adrizamiento habrá riesgo de resonancia si se cumplen las dos inecuaciones:

$$0.6 < \frac{T_x}{T_p} < 1.3$$

$$\frac{d_f}{l_c} > 0.1$$

Para el análisis de resonancia se estudiarán los tanques que se encuentran en la parte central del buque (en la mitad de la eslora).

Tanques de LNG

En el caso del tanque de LNG se considerará lleno con un 95% de la altura total del tanque (H).

$$b_c = 28.00\text{m} ; b_s = 17.91\text{m}; d_f = 19.96 \text{ m}; l_s = l_c = 32.37 \text{ m}$$

$$T_x = 6.57 \text{ s}$$

$$0.6 < \frac{T_x}{T_p} = 0.798 < 1.3$$

$$\frac{d_f}{l_c} = 0.617 > 0.1$$

Hay riesgo de resonancia en el movimiento de cabeceo al cumplirse las dos inecuaciones, pero afecta a los mamparos transversales.

Tanque de Lastre lateral

$$\text{A 95\% de llenado. } b_c = 4.09\text{m} ; b_s = 3.32\text{m}; d_f = 13 \text{ m}; l_s = l_c = 34.57 \text{ m}$$

$$T_x = 7.42 \text{ s}$$

$$0.6 < \frac{T_x}{T_p} = 0.852 < 1.3$$

$$\frac{d_f}{l_c} = 0.37 > 0.1$$

Hay resonancia que afectará a las bulárcamas estancas.

Movimiento de balance

En caso de escora existirá riesgo de resonancia si se cumplen las dos siguientes inecuaciones:

$$0.8 < \frac{T_y}{T_R} < 1.2$$

$$\frac{d_f}{b_c} > 0.1$$

Para el análisis de resonancia se estudiarán los tanques que se encuentran en la parte central del buque (en la mitad de la eslora).

Para ningún tanque hay riesgo de resonancia en el movimiento de balance.

Presiones estáticas

Presiones a añadir a las presiones dinámicas de sloshing

Las presiones estáticas causadas por los líquidos que se añadan a las presiones dinámicas causadas por “sloshing” se calculan por la siguiente ecuación:

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot (d_f + d_{tb} - z) \text{ kN/m}^2$$

Presiones a añadir a las presiones dinámicas de impacto

Las presiones estáticas causadas por los líquidos que se añadan a las presiones dinámicas causadas por impactos se calculan por la siguiente ecuación:

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot (0.7H + d_{tb} - z) \text{ kN/m}^2$$

Presiones dinámicas de sloshing

Para el cálculo de presiones dinámicas por sloshing se distinguen las situaciones de escora y adrizamiento.

Buque adrizado

Las estructuras afectadas serán los mamparos transversales, las bulárcamas estancas que formen parte del contorno de los tanques y las varengas estancas que cumplan la misma función.

El estudio de los mamparos transversales se considerará en etapas posteriores a esta fase de proyecto.

La presión dinámica de impacto no se considerará en caso de estar los tanques llenos a menos del 50% de la altura total del tanque (H).

En caso de no existir riesgo de resonancia, si la longitud del tanque es superior al 15% de la eslora también es necesario realizar el cálculo de presiones internas por sloshing.

El estudio de la presión se realiza a cotas del 20% superior e inferior del nivel de llenado (ver la figura del apartado de buque escorado).

La presión de sloshing, “p_{sl}”, se estima a partir de otra presión, llamada presión de referencia, “p₀”, que se obtiene con la siguiente ecuación:

$$P_0 = 0.84 \cdot \varphi_u \cdot \rho_L \cdot g \cdot S \cdot l_c A_p \text{ kN/m}^2$$

Con:

S: Parámetro definido como $3+0.01L$ para buques mayores de 200 m, $S = 4.026$

φ_u : Parámetro que tiene de valor la unidad para los tanques que tengan varengas de altura inferior al 10% de la altura del tanque y valdrá 0.4 en caso contrario.

Una vez que se ha definido la presión de referencia se puede definir la presión de sloshing:

$$P_{sl} = 0$$

$$z \leq 0.8d_f + d_{TB}$$

$$P_{sl} = \left(5 \cdot \frac{z - d_{TB}}{d_f} - 4 \right) \cdot \alpha \cdot P_0$$

$$0.8d_f + d_{TB} < z \leq d_f + d_{TB}$$

$$P_{sl} = \left(6 - 5 \cdot \frac{z - d_{TB}}{d_f} \right) \cdot \alpha \cdot P_0$$

$$d_f + d_{TB} < z < 1.2d_f + d_{TB}$$

$$P_{sl} = 0$$

$$z \geq 1.2d_f + d_{TB}$$

Con:

$$\alpha = \frac{d_f}{0.6H}$$

$$d_f < 0.6H$$

$$\alpha = 1$$

$$0.6H \leq d_f \leq 0.7H$$

$$\alpha = \frac{H - d_f}{0.3H}$$

$$d_f > 0.7H$$

Para calcular dicha presión para las varengas estancas del tanque de doble fondo:

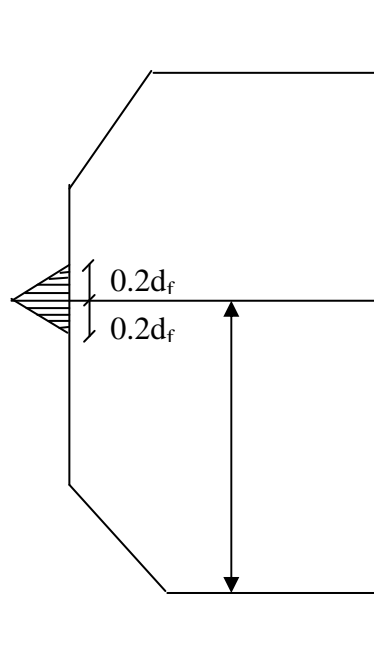
$$P_{sl} = 0.84 \cdot \rho_L \cdot g \cdot (1.95 - 0.12n) \cdot (z - d_{TB})$$

Con , n, que es el número de varengas del tanque.

Buque escorado

En el caso de riesgo de resonancia, se considera que la presión de sloshing actúa en el contorno longitudinal de los tanques.

La zona afectada por este fenómeno será desde el nivel de llenado, un 20% del nivel, tanto en la parte superior como inferior, ver la siguiente figura.



Se considerará este tipo de carga sólo en el caso de tener un porcentaje de llenado superior al 50% de la altura del tanque.

La presión de “sloshing” (p_{sl}) se estima a partir de otra presión, llamada presión de referencia (p_0) que se obtiene con la siguiente ecuación:

$$P_0 = 1.93 \cdot \varphi_1 \cdot \rho_L \cdot g \cdot b_c A_R \cdot \sqrt{B} \left(1 - 0.3 \frac{B}{b_c} \right) \text{ kN/m}^2$$

Con:

ϕ_1 : Parámetro que vale 0 si la anchura del tanque es igual o inferior del 30% de la manga del buque. En caso de ser mayor, tendrá de valor la unidad para los tanques que tengan vagras de altura inferior al 10% de la altura del tanque y valdrá 0.4 en caso contrario.

Una vez que se ha definido la presión de referencia se puede definir la presión de sloshing:

$$P_{sl} = 0$$

$$z \leq 0.8d_f + d_{TB}$$

$$P_{sl} = \left(5 \cdot \frac{z - d_{TB}}{d_f} - 4 \right) \cdot \alpha \cdot P_0$$

$$0.8d_f + d_{TB} < z \leq d_f + d_{TB}$$

$$P_{sl} = \left(6 - 5 \cdot \frac{z - d_{TB}}{d_f} \right) \cdot \alpha \cdot P_0$$

$$d_f + d_{TB} < z < 1.2d_f + d_{TB}$$

$$P_{sl} = 0$$

$$z \geq 1.2d_f + d_{TB}$$

Con:

$$\alpha = \frac{d_f}{0.6H}$$

$$d_f < 0.6H$$

$$\alpha = 1$$

$$0.6H \leq d_f \leq 0.7H$$

$$\alpha = \frac{H - d_f}{0.3H}$$

$$d_f > 0.7H$$

Presiones dinámicas de impacto

Esta presión está originada por los impactos del líquido en su movimiento en el interior de los tanques.

Buque adrizado

Se considerará este tipo de carga en caso de existir riesgo de resonancia. Las estructuras afectadas serán los mamparos transversales, las bulárcamas estancas que formen parte del contorno de los tanques y las varengas estancas que cumplan la misma función.

También son objeto de estudio los techos de tanques.

El estudio de los mamparos transversales se considerará en etapas posteriores de esta fase de proyecto.

La presión dinámica de impacto no se considerará en caso de estar los tanques llenos a menos del 50% de la altura total del tanque (H).

En caso de no existir riesgo de resonancia, si la longitud del tanque es superior al 15% de la eslora también es necesario realizar el cálculo de presiones internas por impacto.

La presión dinámica de impacto se calcula por la siguiente ecuación:

$$P_{I,U} = \varphi_u \cdot \rho_L \cdot g \cdot l_c A_P \left(0.9 + \frac{l_c}{L} \right) \cdot (5 + 0.015L) \text{ kN/m}^2$$

Buque escorado

Se considerará este tipo de carga en caso de existir riesgo de resonancia. Las estructuras afectadas serán los mamparos longitudinales o contornos longitudinales de los tanques. También son objeto de estudio los techos de tanques.

La presión dinámica de impacto no se considerará en caso de estar los tanques llenos a menos del 50% de la altura total del tanque (H).

La presión dinámica de impacto se calcula por la siguiente ecuación:

$$P_{I,I} = 0.61 \cdot \phi_1 \cdot \rho_L \cdot g \cdot (0.75B - 8) \cdot b_c \cdot A_R \text{ kN/m}^2$$

9. DIMENSIONADO DE ELEMENTOS ESRTUCTURALES

Los cálculos se realizarán siguiendo los criterios establecidos por Bureau Veritas, se analizarán tanto planchas como refuerzos de las mismas.

Puede que sea necesario aumentar el escantillón de las planchas o aumentar la inercia de los refuerzos para cumplir con los criterios de resistencia de la estructura, como pueden ser el momento de inercia mínimo de la cuaderna maestra o las tensiones alcanzadas.

También se revisarán con las dimensiones finales para el análisis de pandeo para los cuatro casos de carga.

Planchas

Para el escantillonado de planchas es necesario definir unos coeficientes que cuantifican las cargas en función del tipo de análisis y del caso de carga. En las siguientes tablas se pueden consultar sus valores.

Coeficiente	Símbolo	General	Presión de Sloshing	Presión de Impacto	Pandeo
Cargas de BuqueViga en Aguas Tranquilas	γ_{s1}	1.00	0.00	0.00	1.00
Cargas de Buque-Viga en olas	γ_{w1}	1.15	0.00	0.00	1.15
Presión hidrostática	γ_{s2}	1.00			NA
Presión de olas	γ_{w2}	1.20	1.05	1.20	NA
Material	γ_m	1.02			
Resistencia	γ_R	1.20	1.10	1.02	1.10

CASO DE CARGA	C_{FV}	C_{FH}	$C_{F\Omega}$
a	1.0	0.0	0.0
b	1.0	0.0	0.0
c	0.4	1.0	1.0
d	0.4	1.0	0.0

En el dimensionado se distinguen dos condiciones de carga que se describen a continuación:

- Condición 1: $\frac{|\gamma_{s1} \cdot M_{SW,S} + 0.625 \cdot \gamma_{w1} \cdot C_{FV} \cdot M_{WV,S}|}{\gamma_{s1} \cdot M_{SW,H} + 0.625 \cdot \gamma_{w1} \cdot C_{FV} \cdot M_{WV,H}} \geq 1$

$$\sigma_{s1} = \frac{|M_{SW,S} \cdot (z - N)|}{I_y} \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{w1} = \frac{|0.625 \cdot F_D M_{wv,s} \cdot (z - N)|}{I_y} \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{wh1} = \frac{-|0.625 \cdot M_{wh} \cdot y|}{I_z} \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

• Condición 2: $\frac{|\gamma_{s1} \cdot M_{sw,s} + 0.625 \cdot \gamma_{w1} \cdot C_{FV} \cdot M_{wv,s}|}{\gamma_{s1} \cdot M_{sw,H} + 0.625 \cdot \gamma_{w1} \cdot C_{FV} \cdot M_{wv,H}} < 1$

$$\sigma_{s1} = \frac{|M_{sw,H} \cdot (z - N)|}{I_y} \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{w1} = \frac{|0.625 \cdot F_D M_{wv,H} \cdot (z - N)|}{I_y} \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{wh1} = \frac{-|0.625 \cdot M_{wh} \cdot y|}{I_z} \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

Con $F_D = 1$

Dado que el estudio del peor caso de carga es en la situación de quebranto, los cálculos se realizan con las fórmulas de la condición 2.

A partir de estos cálculos de tensiones parciales y de coeficientes, las tensiones en el plano de las planchas que contribuyan a la resistencia longitudinal serán:

$$\sigma_{x1} = \gamma_{s1} \cdot \sigma_{s1} + \gamma_{w1} \cdot (C_{FV} \cdot \sigma_{wv1} + C_{FH} \cdot \sigma_{wh1} + C_{F\Omega} \cdot \sigma_{\Omega})$$

En caso de estudiar un elemento estructural que no tenga contribución directa en la resistencia longitudinal, esta tensión se considera de valor nulo.

Se ha realizado un estudio de pandeo de las planchas entre refuerzos. Los análisis se han centrado en las planchas que están por debajo del eje neutro y con tensiones de compresión más elevadas; es decir, las planchas del fondo, doble fondo, pantoque y parte baja del costado.

Dado que las tensiones tangenciales obtenidas, consultar el anexo, son bastante bajas, el estudio se centrará en el pandeo por cargas de compresión, despreciándose la acción conjunta o aislada (cortadura pura) en el pandeo.

La tensión crítica de compresión para el fallo por pandeo se calcula con la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}\sigma_C &= \sigma_E && \text{para } \sigma_E \leq R_{EH}/2 \\ \sigma_C &= R_{EH} \cdot \left(1 - \frac{R_{EH}}{4 \cdot \sigma_E}\right) && \text{para } \sigma_E > R_{EH}/2\end{aligned}$$

Con:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 K \varepsilon 10^{-6}$$

K: Factor de pandeo, ver tabla inferior.

ε: Puede tomar los siguientes valores:

- 1 para valores $\alpha \geq 1$
- 1.05 para valores $\alpha < 1$ y además rigidizado por perfiles en dirección lado “b”.

α: Relación de aspecto, a/b

$$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$$

TIPO DE CARGA	RELACIÓN DE ASPECTO	K
0 ≤ ψ ≤ 1	α ≥ 1	$\sigma_E = \frac{8.4}{\Psi + 1.1}$
	α < 1	$\left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right)^2 \cdot \frac{2.1}{\Psi + 1.1}$
-1 < ψ < 0		$(1 + \Psi) \cdot K' - \Psi K'' + 10\Psi(1 + \Psi)$
ψ ≤ -1	$\alpha \frac{1 - \Psi}{2} \geq \frac{2}{3}$	$23.9 \left(\frac{1 - \Psi}{2}\right)^2$
	$\alpha \frac{1 - \Psi}{2} \geq \frac{2}{3}$	$\left(15.87 + \frac{1.87}{\left(\alpha \frac{1 - \Psi}{2}\right)^2} + 8.6 \left(\alpha \frac{1 - \Psi}{2}\right)^2\right)^2 \cdot \left(\frac{1 - \Psi}{2}\right)^2$

K': valor de K para ψ = 0

K'': valor de K para ψ = -1

En caso de paneles curvos, como sucede en el caso del pantoque, se realizan las mismas operaciones pero se consideran distintos los siguientes parámetros:

$$\varepsilon = 1$$

$$K = 2 \cdot \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot b^4}{\pi^4 \cdot r^2 \cdot t^2} \cdot 10^6} \right\}$$

Fondo

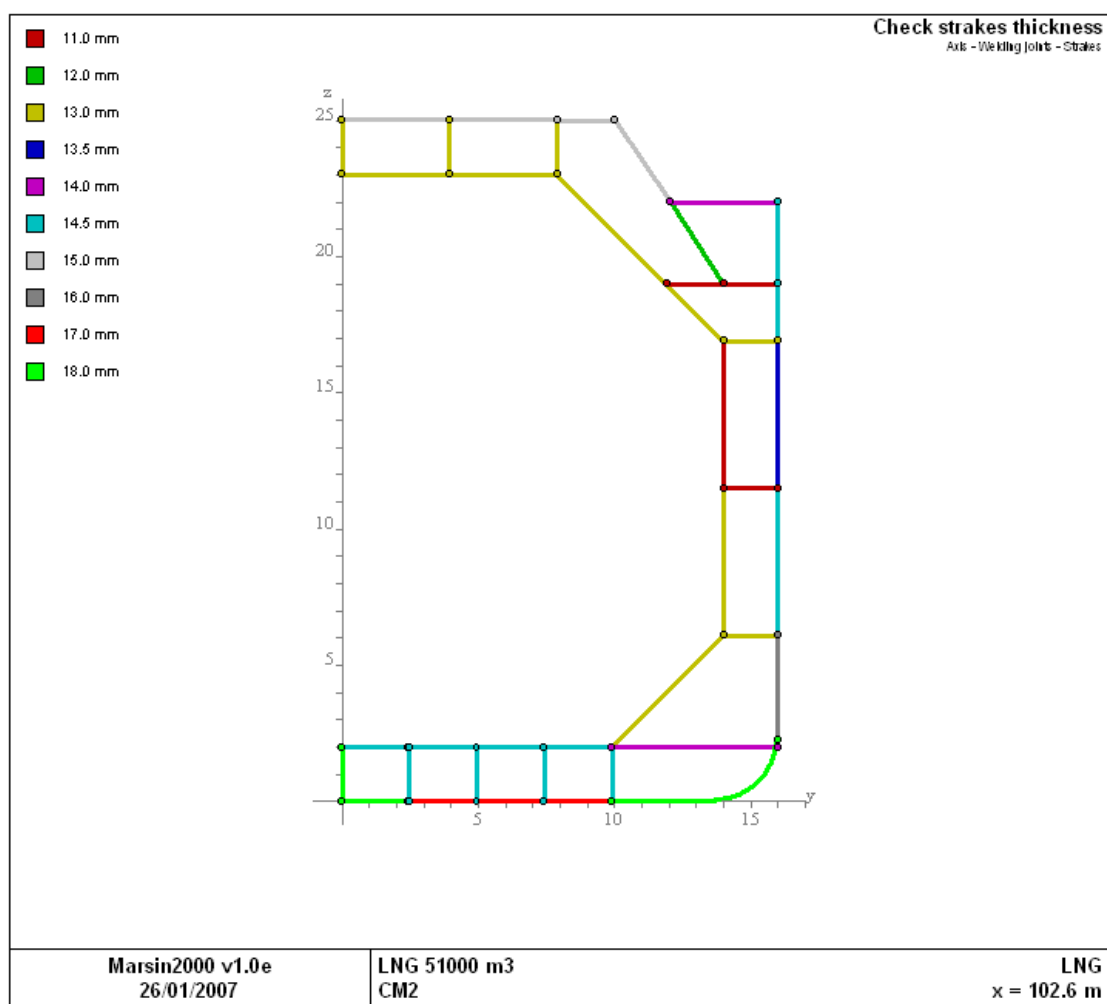
Las reglas proporcionan una altura mínima del doble fondo que ha de ser mayor que el siguiente valor:

$$\text{Min } [0.7, (B+T+10) \cdot 0.03] = 1544 \text{ mm}$$

ALTURA DEL DOBLE FONDO EXIGIDA	ALTURA DEL DOBLE FONDO
1.55 m	2.0 m

A continuación, en los siguientes apartados se muestran las dimensiones y espesores mínimos requeridos por las reglas, en las planchas de fondo, costado y cubierta.

En la siguiente imagen obtenida del programa “MARS2000” se puede ver la disposición de espesores que finalmente se han dispuesto en la cuaderna maestra.



Quilla

La plancha de quilla debe extenderse a lo largo de toda la eslora del barco y debe tener un ancho no menor de:

$$b = 800 + 5 \cdot L = 1826 \text{ mm}$$

Su espesor no debe ser menor de:

$$t = 3,8 + 0,040 \cdot L \cdot k^{1/2} + 4,5s = 16.5 \text{ mm}$$

Con:

$$s = 1$$

$$k = 1$$

Puesto que la plancha recibirá cargas fuera de plano, el espesor no puede ser menor del valor proporcionado en la siguiente ecuación:

$$t = 14.9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot c_s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{\lambda_L \cdot R_Y}}$$

Con:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0.95 \cdot \left[\gamma_m \cdot \frac{\sigma_{X1}}{R_Y} \right]^2} - 0.225 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{X1}}{R_Y}$$

Los valores de σ_{X1} , p_s y p_w se calculan con las fórmulas ya expuestas en capítulos anteriores para cada caso de carga, “a”, “b”, “c” y “d” y para cada tipo de análisis.

A continuación se expone el resumen de resultados de espesores mínimos calculados (espesores expresados en mm).

ESPESORES MÍNIMOS EN MILÍMETROS			
Caso de carga	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	13.5	NA	NA
b	12.5	NA	NA
c	12.0	NA	NA
d	11.5	NA	NA

El peor caso de carga es “a” y son necesarios 13.5 mm de espesor como mínimo.

No es necesario estudiar los fenómenos de cargas internas por sloshing o impacto.

El espesor mínimo requerido ha sido obtenido con la fórmula de escantillonado general y el valor es de 16.5 mm.

Por efecto de corrosión y por estar en una zona lastre es necesario aumentar 1 mm el espesor mínimo.

En la siguiente tabla se exponen las dimensiones de la quilla.

REQUISITOS DE LA QUILLA		QUILLA DIMENSIONADA	
Anchura	Espesor	Anchura	Espesor
1826 mm	17.5 mm	4948 mm	17.5 mm

Con estas dimensiones se ha estudiado si existe inestabilidad o pandeo de la plancha entre refuerzos, consultar la siguiente tabla.

Caso de carga	Tensión (N/mm ²)	Tensión crítica de pandeo (N/mm ²)	Coefficiente de seguridad de fallo por pandeo
a	88	204	2.33
b	88		2.33
c	87		2.35
d	87		2.35

Como se puede apreciar en la tabla no hay fallo por pandeo al haberse obtenido un coeficiente de seguridad de 2.33.

Planchas del fondo

Las planchas de fondo no tendrán un espesor inferior al siguiente valor:

$$t = 1,9 + 0,032 \cdot L \cdot k^{1/2} + 4,5s = 13.0 \text{ mm}$$

Con:

$$s = 1$$

$$k = 1$$

El es pesor de la plancha por recibir cargas fuera de plano ha de ser mayor del valor proporcionado por la siguiente fórmula:

$$t = 14.9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot c_s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{s2} \cdot p_s + \gamma_{w2} \cdot p_w}{\lambda_L \cdot R_Y}}$$

Con:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0.95 \cdot \left[\gamma_m \cdot \frac{\sigma_{X1}}{R_Y} \right]^2} - 0.225 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{X1}}{R_Y}$$

Los valores de σ_{X1} , p_s y p_w se calculan con las fórmulas ya expuestas para cada caso de carga, “a”, “b”, “c” y “d” y para cada tipo de análisis.

A continuación se expone el resumen de resultados de espesores mínimos calculados (espesores expresados en mm).

ESPESORES MÍNIMOS (MM)			
Caso de carga	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	13.5	NA	NA
b	12.5	NA	NA
c	16.0	NA	NA
d	14.0	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y son necesarios 16.0 mm de espesor como mínimo.

No es necesario estudiar los fenómenos de cargas internas por sloshing o impacto al no ser el doble fondo resonante para llenados inferiores del 90%, para valores superiores la quilla no se ve afectada.

El espesor mínimo requerido ha sido obtenido con la fórmula de escantillonado por cargas y el valor es de 16.0 mm.

Por efecto de corrosión y por estar en una zona lastre es necesario aumentar 1 mm el espesor mínimo.

En la siguiente tabla se expone el espesor de las planchas de fondo.

ESPESOR MÍNIMO EXIGIDO	ESPESOR DE LAS PLANCHAS DE FONDO
17 mm	17 mm

Con estas dimensiones se ha estudiado si existe inestabilidad o pandeo de la plancha entre refuerzos, consultar la siguiente tabla.

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tensión (N/mm ²)	Tensión crítica de pandeo (N/mm ²)	Coefficiente de seguridad de fallo por pandeo
a	88	200	2.28
b	88		2.28
c	87		2.31
d	87		2.31

Como se puede apreciar en la tabla no hay fallo por pandeo al haberse obtenido un coeficiente de seguridad de 2.28.

Pantoque

Las plancha de pantoque no tendrá un espesor inferior al siguiente valor:

$$t = 0,7 \cdot (\gamma_R \cdot \gamma_M \cdot (\gamma_{S2} \cdot ps + \gamma_{W2} \cdot pw) \cdot s_b)^{0,4} R^{0,6} k^{1/2} = 17 \text{ mm}$$

$$R = 2.268 \text{ m}$$

$$S_b = 3.2 \text{ m}$$

El espesor de la plancha por recibir cargas fuera de plano ha de ser mayor del valor proporcionado por la siguiente fórmula:

$$t = 14.9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot c_s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{\lambda_L \cdot R_Y}}$$

Con:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0.95 \cdot \left[\gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_Y} \right]^2 - 3 \cdot \left[\gamma_m \cdot \frac{\tau_1}{R_Y} \right]^2 - 0.225 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_Y}}$$

Los valores de σ_{x1} , p_s y p_w se calculan con las fórmulas ya expuestas para cada caso de carga, “a”, “b”, “c” y “d” y para cada tipo de análisis.

•

A continuación se expone el resumen de resultados de espesores mínimos calculados (espesores expresados en mm).

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	13.5	NA	NA
b	12.5	NA	NA
c	16.5	NA	NA
d	14.0	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y son necesarios 16.5 mm de espesor como mínimo.

No es necesario estudiar los fenómenos de cargas internas por sloshing o impacto al no ser el tanque de lastre resonante.

El espesor mínimo requerido ha sido obtenido con la fórmula de escantillonado general y el valor es de 17 mm.

Por efecto de corrosión y por estar en una zona lastre, es necesario aumentar 1 mm el espesor mínimo.

En la siguiente tabla se expone el espesor de las planchas de fondo.

Espesor mínimo exigido	Espesor del pantoque
18 mm	18 mm

Con estas dimensiones se ha estudiado si existe inestabilidad o pandeo de la plancha entre refuerzos, consultar la siguiente tabla.

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tensión (N/mm ²)	Tensión crítica de pandeo (N/mm ²)	Coefficiente de seguridad de fallo por pandeo
a	88	227	2.51
b	88		2.51
c	87		2.59
d	87		2.59

Como se puede apreciar en la tabla no hay fallo por pandeo al haberse obtenido un coeficiente de seguridad de 2.51.

Planchas del doble fondo

Las planchas de doble fondo no tendrán un espesor inferior al siguiente valor:

$$t = 1,9 + 0,024 \cdot L \cdot k^{1/2} + 4,5s = 11.5 \text{ mm}$$

Con:

$$s = 1$$

$$k = 1$$

El es pesor de la plancha al recibir cargas fuera de plano ha de ser mayor del valor proporcionado por la siguiente fórmula:

$$t = 14.9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot c_s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{\lambda_L \cdot R_Y}}$$

Con:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0.95 \cdot \left[\gamma_m \cdot \frac{\sigma_{X1}}{R_Y} \right]^2} - 0.225 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{X1}}{R_Y}$$

Los valores de σ_{X1} , p_s y p_w se calculan con las fórmulas ya expuestas para cada caso de carga, “a”, “b”, “c” y “d” y para cada tipo de análisis.

A continuación se expone el resumen de resultados de espesores mínimos calculados.

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	11.5	NA	NA
b	13.5	NA	NA
c	11.5	NA	NA
d	11.5	NA	NA

El peor caso de carga es “b” y son necesarios 13.5 mm de espesor como mínimo.

No es necesario estudiar los fenómenos de cargas internas por sloshing o impacto al no ser el tanque de lastre resonante.

El espesor mínimo requerido ha sido obtenido con la fórmula de escantillonado con cargas y el valor es de 13.5 mm.

Por efecto de corrosión y por estar en una zona lastre, es necesario aumentar 1 mm el espesor mínimo.

En la siguiente tabla se expone el espesor de las planchas de fondo.

Espesor mínimo exigido	Espesor del pantoque
14.5 mm	14.5 mm

Con estas dimensiones se ha estudiado si existe inestabilidad o pandeo de la plancha entre refuerzos, consultar la siguiente tabla.

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tensión (N/mm ²)	Tensión crítica de pandeo (N/mm ²)	Coefficiente de seguridad de fallo por pandeo
a	73	187	2.59
b	73		2.59
c	74		2.59
d	74		2.59

Como se puede apreciar en la tabla no hay fallo por pandeo al haberse obtenido un coeficiente de seguridad de 2.59.

Vagras

El espesor inicial de estas planchas es igual al mínimo espesor de las planchas que estén soldadas a ellas; es decir, no pueden tener un espesor inferior a los 14.5 mm que tienen las planchas del doble fondo.

Para las vagras estancas, que tienen cargas fuera de su plano, el espesor de la plancha ha de ser mayor del valor proporcionado por la siguiente fórmula:

$$t = 14.9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot c_s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{s2} \cdot p_s + \gamma_{w2} \cdot p_w}{\lambda_L \cdot R_Y}}$$

Con:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0.95 \cdot \left[\gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_Y} \right]^2} - 0.225 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_Y}$$

Los valores de σ_{x1} , p_s y p_w se calculan con las fórmulas ya expuestas para cada caso de carga, “a”, “b”, “c” y “d” y para cada tipo de análisis.

A continuación se expone el resumen de resultados de espesores mínimos calculados (espesores expresados en mm).

- Vagras estancas:

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	10.5	NA	NA
b	12.5	NA	NA
c	10.5	NA	NA
d	10.5	NA	NA

El peor caso de carga es “b” y son necesarios 12.5 mm de espesor como mínimo.

No es necesario estudiar los fenómenos de cargas internas por sloshing o impacto al no ser el tanque de lastre resonante.

El espesor mínimo requerido ha sido obtenido con la regla del espesor mínimo de planchas contiguas, el espesor ha de ser mayor de 14.5 mm.

No es necesario considerar la corrosión porque ya se ha considerado al igualar el espesor con el de las planchas de doble fondo

En la siguiente tabla se expone el espesor de las planchas de las vagras.

Espesor mínimo exigido	Espesor de las vagras
14.5 mm	14.5 mm

No ha sido necesario el estudio de inestabilidad al tener menor distancia entre refuerzos que las planchas de doble fondo e igual espesor. La diferencia de tensiones entre ambas zonas es despreciable dados los altos coeficientes de seguridad obtenidos en las planchas de doble fondo.

Varengas

Las varengas no participan en la resistencia longitudinal por lo que la tensión considerada en su plano se considera nula.

A continuación se calcula su escantillonado mínimo de las varengas estancas con las siguientes expresiones:

$$t = 14.9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot c_s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot p_s + \gamma_{W2} \cdot p_w}{\lambda_L \cdot R_Y}}$$

Con:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0.95 \cdot \left[\gamma_m \cdot \frac{\sigma_{X1}}{R_Y} \right]^2} - 0.225 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{X1}}{R_Y}$$

Los valores de p_s y p_w se calculan con las fórmulas ya expuestas para cada caso de carga, “a”, “b”, “c” y “d” y para cada tipo de análisis.

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	10.0	NA	NA
b	12.5	NA	NA
c	10.0	NA	NA
d	10.0	NA	NA

El peor caso de carga es “b” y son necesarios 12.5 mm de espesor como mínimo.

No es necesario estudiar los fenómenos de cargas internas por sloshing o impacto al no ser el tanque de lastre resonante.

Por efecto de corrosión y por estar en una zona lastre, es necesario aumentar 1 mm el espesor mínimo.

En la siguiente tabla se expone el espesor de las planchas de fondo.

Espesor mínimo exigido	Espesor de las varengas
13.5 mm	13.5 mm

Costado

Planchas del costado por debajo de la cubierta de francobordo

Las planchas de costado que están situadas por debajo de la cubierta de francobordo tendrán mayor espesor que el calculado con la siguiente ecuación:

$$t = 2.1 + 0.031 \cdot L \cdot k^{0.5} + 4.5s = 13 \text{ mm}$$

Con

$$k = 1$$

$$s = 1 \text{ m}$$

El espesor de la plancha al tener cargas fuera de plano ha de ser mayor del valor proporcionado por la siguiente fórmula:

$$t = 14.9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot c_s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{s2} \cdot P_s + \gamma_{w2} \cdot P_w}{\lambda_L \cdot R_Y}}$$

Con:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0.95 \cdot \left[\gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_Y} \right]^2 - 3 \cdot \left[\gamma_m \cdot \frac{\tau_1}{R_Y} \right]^2 - 0.225 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_Y}}$$

Los valores de σ_{x1} , p_s y p_w se calculan con las fórmulas ya expuestas para cada caso de carga, “a”, “b”, “c” y “d” y para cada tipo de análisis.

A continuación se expone el resumen de resultados de espesores mínimos calculados (espesores expresados en mm) para distintas cotas.

- Planchas por debajo de $z = 6 \text{ m}$ (origen de “z” en la línea de base).

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	12.0	NA	NA
b	10.5	NA	NA
c	15.0	NA	NA
d	12.0	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y son necesarios 15.0 mm de espesor como mínimo.

No es necesario estudiar los fenómenos de cargas internas por sloshing o impacto al no ser el tanque de lastre resonante.

El espesor mínimo requerido ha sido obtenido con la fórmula de escantillonado con cargas y el valor es de 15.0 mm.

Por efecto de corrosión y por estar en una zona lastre, es necesario aumentar 1 mm el espesor mínimo.

En la siguiente tabla se expone el espesor de las planchas de costado para estas cotas.

Espesor mínimo exigido	Espesor de planchas de costado con $z \leq 6$ m
16 mm	16 mm

Con estas dimensiones se ha estudiado si existe inestabilidad o pandeo de la plancha entre refuerzos, consultar la siguiente tabla.

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tensión (N/mm ²)	Tensión crítica de pandeo (N/mm ²)	Coefficiente de seguridad de fallo por pandeo
a	73	198	2.72
b	73		2.72
c	74		2.75
d	74		2.75

Como se puede apreciar en la tabla no hay fallo por pandeo al haberse obtenido un coeficiente de seguridad de 2.72.

- Planchas de costado para $6 \text{ m} < z < 9.48 \text{ m}$ (origen de “z” en la línea de base).

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	10.0	NA	NA
b	8.0	NA	NA
c	13.5	NA	NA
d	10.0	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y son necesarios 13.5 mm de espesor como mínimo.

No es necesario estudiar los fenómenos de cargas internas por sloshing o impacto al no ser el tanque de lastre resonante.

El espesor mínimo requerido ha sido obtenido con la fórmula de escantillonado con cargas y el valor es de 13.5 mm.

Por efecto de corrosión y por estar en una zona lastre, es necesario aumentar 1 mm el espesor mínimo.

En la siguiente tabla se expone el espesor de las planchas de costado para estas cotas.

Espesor mínimo exigido	Espesor de planchas de costado con $6 \text{ m} < z < 9.48 \text{ m}$
14.5 mm	14.5 mm

No es necesario un chequeo para el fallo de pandeo al estar próximas estas planchas al eje neutro. A partir de ahora con el resto de las planchas tampoco se hará el análisis por la misma razón o por estar en zona de tensión.

- Planchas de costado para $z > 9.48$ m

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	9.0	NA	NA
b	6.5	NA	NA
c	12.5	NA	NA
d	9.0	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y son necesarios 12.5 mm de espesor como mínimo.

No es necesario estudiar los fenómenos de cargas internas por sloshing o impacto al no ser el tanque de lastre resonante.

El espesor mínimo requerido ha sido obtenido con la fórmula de escantillado con cargas y el valor es de 12.5 mm.

Por efecto de corrosión y por estar en una zona lastre, es necesario aumentar 1 mm el espesor mínimo.

En la siguiente tabla se expone el espesor de las planchas de costado para estas cotas.

Espesor mínimo exigido	Espesor de planchas de costado con $z > 9.48$ m
13.5 mm	13.5 mm

Planchas del costado por encima de la cubierta de francobordo

Las planchas de costado que están situadas por encima de la cubierta de francobordo tendrán mayor espesor que el calculado con la siguiente ecuación:

$$t = 2.1 + 0.013 \cdot L \cdot k^{0.5} + 4.5s = 14 \text{ mm}$$

Con $k = 1$

$s = 1 \text{ m}$

El espesor de la plancha al estar sometida a cargas fuera de plano ha de ser mayor del valor proporcionado por la siguiente fórmula:

$$t = 14.9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot c_s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{s2} \cdot p_s + \gamma_{w2} \cdot p_w}{\lambda_L \cdot R_Y}}$$

Con:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0.95 \cdot \left[\gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_Y} \right]^2 - 3 \cdot \left[\gamma_m \cdot \frac{\tau_1}{R_Y} \right]^2} - 0.225 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_Y}$$

Los valores de σ_{x1} , p_s y p_w se calculan con las fórmulas ya expuestas para cada caso de carga, “a”, “b”, “c” y “d” y para cada tipo de análisis.

A continuación se expone el resumen de resultados de espesores mínimos calculados

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	7.0	NA	NA
b	7.0	NA	NA
c	7.0	NA	NA
d	7.0	NA	NA

Todos los casos coinciden y son necesarios 7 mm de espesor como mínimo.

No es necesario estudiar los fenómenos de cargas internas por sloshing o impacto al no ser el tanque de lastre resonante.

El espesor mínimo requerido ha sido obtenido con la fórmula de escantillonado general y el valor es de 14 mm.

Por efecto de corrosión y por en la intemperie, es necesario aumentar 0.5 mm el espesor mínimo.

En la siguiente tabla se expone el espesor de las planchas.

Espesor mínimo exigido	Espesor de planchas de costado con $z > 9.48$ m
14.5 mm	14.5 mm

Traca de cinta

La traca de cinta tendrá mayor o igual espesor que el de las planchas contiguas a ella. Como mínimo entonces tendrá 14.5 mm.

Se consideran los mismo cálculos para el análisis del escantillonado por cargas fuera de plano que en el apartado anterior.

En la siguiente tabla se expone el espesor de las plancha.

Espesor mínimo exigido	Traca de Cinta
14.5 mm	14.5 mm

Planchas del doble casco

Las planchas interiores del doble casco tendrán como mínimo el siguiente espesor:

$$t = 3.6 + 2.2 \cdot k^{0.5} + s = 8 \text{ mm}$$

Con

$$k = 1$$

$$s = 1 \text{ m}$$

El es pesor de la plancha al recibir cargas fuera de plano ha de ser mayor del valor proporcionado por la siguiente fórmula:

$$t = 14.9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot c_s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{\lambda_L \cdot R_Y}}$$

Con:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0.95 \cdot \left[\gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_Y} \right]^2 - 3 \cdot \left[\gamma_m \cdot \frac{\tau_1}{R_Y} \right]^2} - 0.225 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_Y}$$

Los valores de σ_{x1} , p_s y p_w se calculan con las fórmulas ya expuestas para cada caso de carga, “a”, “b”, “c” y “d” y para cada tipo de análisis.

- Planchas del interior doble casco para $z \leq 11.5$ m ($z = 0$ en la línea de base).

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	10.0	NA	NA
b	12.0	NA	NA
c	10.0	NA	NA
d	10.0	NA	NA

Todos los casos coinciden y son necesarios 12 mm de espesor como mínimo.

No es necesario estudiar los fenómenos de cargas internas por sloshing o impacto al no ser el tanque de lastre resonante.

El espesor mínimo requerido ha sido obtenido con la fórmula de escantillonado con cargas y el valor es de 12 mm.

Por efecto de corrosión y por estar en zona de lastre, es necesario aumentar 1 mm el espesor mínimo.

En la siguiente tabla se expone el espesor de las planchas.

Espesor mínimo exigido	Espesor de planchas de costado interno, $z \leq 9.48$ m
13 mm	13 mm

Con estas dimensiones se ha estudiado si existe inestabilidad o pandeo de la plancha entre refuerzos, consultar la siguiente tabla.

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tensión	Tensión crítica	Coefficiente de

	(N/mm ²)	de pandeo (N/mm ²)	seguridad de fallo por pandeo
a	73	173	2.38
b	73		2.38
c	72		2.40
d	72		2.40

Como se puede apreciar en la tabla no hay fallo por pandeo al haberse obtenido un coeficiente de seguridad de 2.38.

- Planchas del doble casco que están por encima de $z = 11.5$ m ($z = 0$ para la línea de base).

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	8.0	NA	NA
b	10.0	NA	NA
c	8.0	NA	NA
d	8.0	NA	NA

El peor caso de carga es el “b” y son necesarios 10 mm de espesor como mínimo.

No es necesario estudiar los fenómenos de cargas internas por sloshing o impacto al no ser el tanque de lastre resonante.

El espesor mínimo requerido ha sido obtenido con la fórmula de escantillonado con cargas y el valor es de 10 mm.

Por efecto de corrosión y por en zona de lastre, es necesario aumentar 1 mm el espesor mínimo.

En la siguiente tabla se expone el espesor de las planchas.

Espesor mínimo exigido	Espesor de planchas de costado interno, $z \leq 9.48$ m
11 mm	11 mm

Bulárcamas

El es pesor de la plancha ha de ser mayor del valor proporcionado por la siguiente fórmula:

$$t = 14.9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot c_s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{s2} \cdot P_s + \gamma_{w2} \cdot P_w}{\lambda_L \cdot R_Y}}$$

Con:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0.95 \cdot \left[\gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_Y} \right]^2 - 3 \cdot \left[\gamma_m \cdot \frac{\tau_1}{R_Y} \right]^2 - 0.225 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_Y}}$$

Los valores de σ_{x1} , p_s y p_w se calculan con las fórmulas ya expuestas para cada caso de carga, “a”, “b”, “c” y “d” y para cada tipo de análisis.

- Zona de bulárcamas con $z \leq 8.5$ m ($z = 0$ en la línea de base)

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	10.5	NA	NA
b	12.5	NA	NA
c	10.5	NA	NA
d	10.5	NA	NA

El peor caso es “b” y son necesarios 12.5 mm de espesor como mínimo.

No es necesario estudiar los fenómenos de cargas internas por sloshing o impacto al no ser el tanque de lastre resonante.

Por efecto de corrosión y por estar situadas en zonas de lastre, es necesario aumentar 1 mm el espesor mínimo.

En la siguiente tabla se expone el espesor de las planchas.

Espesor mínimo exigido	Espesor de planchas de costado con $z > 9.48$ m
13.5 mm	13.5 mm

- Zona de bulárcamas para $z > 8.5$ m ($z = 0$ en la línea de base)

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	7.5	18.0	11.5
b	10.0	18.0	11.5
c	7.5	NA	12.5
d	7.5	NA	12.5

El peor caso es “b” y bajo cargas de sloshing. El espesor requerido es de 18 mm.

Por efectos de corrosión y estar situadas en zonas de lastre es necesario añadir 1 mm.

En la siguiente tabla se expone el espesor de las planchas.

Espesor mínimo exigido	Espesor de bulárcamas para $z > 8.5 \text{ m}$
19 mm	19 mm

Cubierta

Planchas de la cubierta

La cubierta superior se dimensiona con la siguiente ecuación:

$$t = 1.6 + 0.032 \cdot L \cdot k^{1/2} + 4.5 \cdot s = 13 \text{ mm}$$

El espesor de la plancha al estar sometida a cargas fuera de plano ha de ser mayor del valor proporcionado por la siguiente fórmula:

$$t = 14.9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot c_s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot p_s + \gamma_{W2} \cdot p_w}{\lambda_L \cdot R_Y}}$$

Con:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0.95 \cdot \left[\gamma_m \cdot \frac{\sigma_{X1}}{R_Y} \right]^2} - 0.225 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{X1}}{R_Y}$$

Los valores de σ_{X1} , p_s y p_w se calculan con las fórmulas ya expuestas para cada caso de carga, “a”, “b”, “c” y “d” y para cada tipo de análisis.

A continuación se expone el resumen de resultados de espesores mínimos calculados (espesores expresados en mm).

Espesores mínimos (mm)			
Caso de carga	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	6.0	NA	NA
b	6.5	NA	NA
c	6.5	NA	NA
d	2.5	NA	NA

El peor caso es “b” y bajo cargas de sloshing. El espesor requerido es de 18 mm.

Por efectos de corrosión y estar situadas en zonas de intemperie, es necesario añadir 0.5 mm.

En la siguiente tabla se expone el espesor de las planchas.

Espesor mínimo exigido	Planchas de cubierta y techo de tanque
7 mm	14 mm, 15 mm y 13 mm (en caso de techo de tanque)

Se ha decidido aumentar el espesor para aumentar el módulo resistente de la cubierta.

Esloras

El espesor inicial de estas planchas es igual al mínimo espesor de las planchas que estén soldadas a ellas, que son las del cubierta y las del techo de tanque.

Espesor mínimo exigido	Esloras
14 mm	14 mm

Refuerzos Longitudinales

Para el escantillonado de los longitudinales es necesario definir unos coeficientes que cuantifican las cargas en función del tipo de análisis y del caso de carga.

En las siguientes tablas se pueden consultar sus valores.

COEFICIENTE DE SEGURIDAD PARCIAL	SÍMBOLO	GENERAL	PRESIÓN DE SLOSHING	PRESIÓN DE IMPACTO	PANDEO
Cargas de Buque-Viga en Aguas Tranquilas	γ_{s1}	1.00	0.00	0.00	1.00
Cargas de Buque-Viga en olas	γ_{w1}	.15	0.00	0.00	1.15
Presión hidrostática	γ_{s2}	1.00			NA
Presión de olas	γ_{w2}	1.20	1.10	1.00	1.40
Material	γ_m	1.02			
Resistencia	γ_R	1.02			

También se definen los siguientes coeficientes

Caso de Carga	C_{FV}	C_{FH}	$C_{F\Omega}$
a	1.0	0.0	0.0
b	1.0	0.0	0.0
c	0.4	1.0	1.0
d	0.4	1.0	0.0

Para cualquier refuerzo el espesor será, como mínimo:

$$t = 1.6 + 2.2 \cdot k^{\frac{1}{2}} + s$$

Con:

s: Separación en m de los longitudinales.

Si el espesor de la plancha a la que sirve como refuerzo es menor que el valor anterior, el del longitudinal puede tener el mismo espesor de la plancha.

Si se utilizan las mayores distancias entre longitudinales (1 m) el resultado de la ecuación anterior es:

$$t = 1.6 + 2.2 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 1 = 7 \text{ mm}$$

Todos los longitudinales de la cuaderna maestra del buque tienen espesores superiores a 7 mm.

Para los longitudinales también hay dos requisitos más:

- Módulo resistente mínimo (con plancha asociada).
- Área mínima (sin plancha asociada).

Las perfiles se chequearán también a pandeo, pero los que están por debajo del eje neutro por ser la condición crítica de quebranto. El estudio se centrará en los de del fondo y doble fondo.

La tensión crítica de compresión para el fallo por pandeo es:

$$\sigma_C = \sigma_E \quad \text{para } \sigma_E \leq R_{EH}/2$$

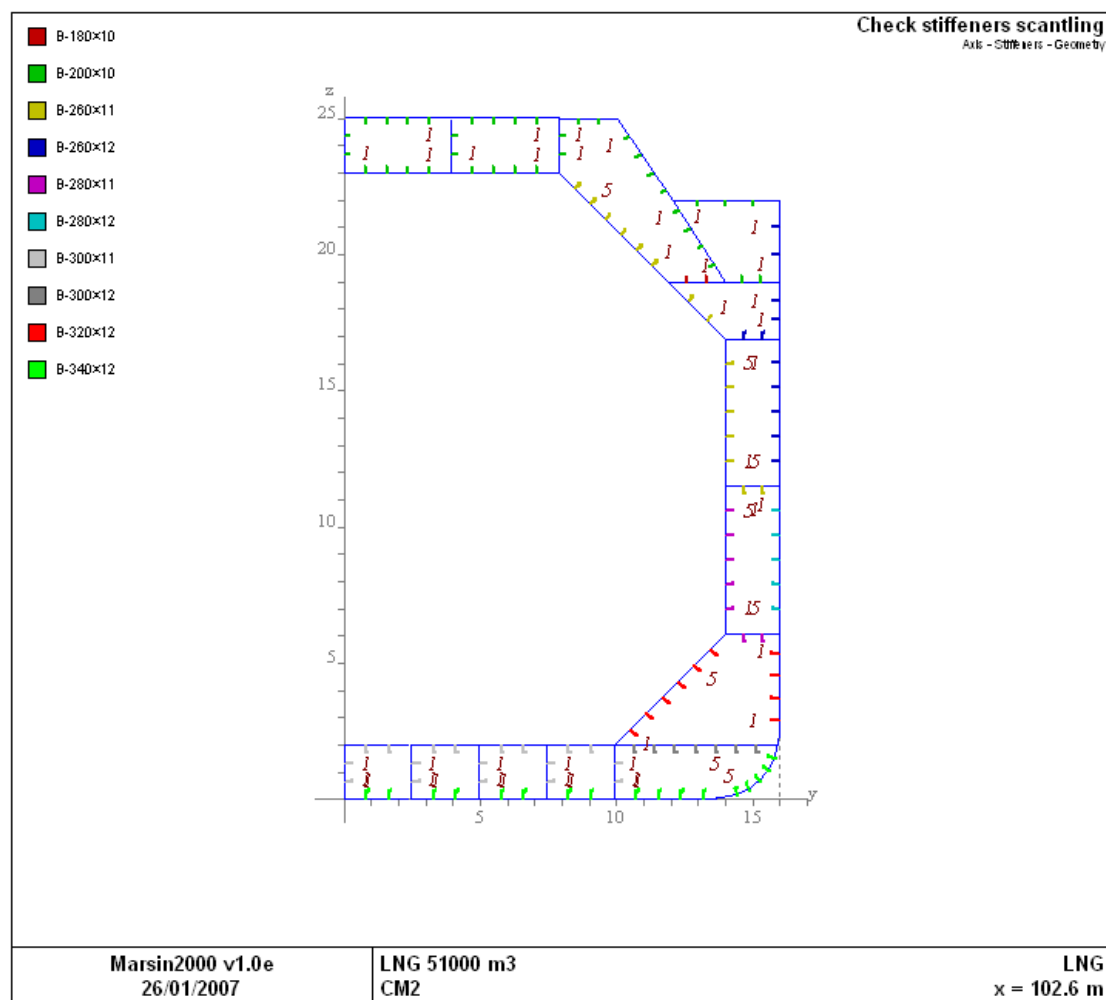
$$\sigma_C = R_{EH} \cdot \left(1 - \frac{R_{EH}}{4 \cdot \sigma_E} \right) \quad \text{para } \sigma_E > R_{EH}/2$$

Con:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E \cdot I}{A \cdot l^2} 10^{-4}$$

I: Momento de inercia.

En la siguiente imagen obtenida del programa “MARS2000” se puede consultar la disposición de los refuerzos finalmente dispuestos longitudinales en la cuaderna maestra.



Fondo***Longitudinales de fondo***

Se cumple que el área del perfil (A) y su módulo resistente (w) no son menores de los exigidos, calculados con:

$$A = 10\gamma_R\gamma_m \frac{\gamma_{s2}ps + \gamma_{w2}pw}{R_y} \cdot \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3$$

$$w = \gamma_R\gamma_m \frac{\gamma_{s2}ps + \gamma_{w2}pw}{12 \cdot (R_y - \gamma_R\gamma_m\sigma_x)} \cdot \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l$$

En la siguiente tabla se muestran los valores de área mínimos obtenidos para cada caso de carga.

Área	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
Caso de carga			
a	15	NA	NA
b	12.3	NA	NA
c	19.89	NA	NA
d	14.79	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y el área mínima exigida es de 19.89 cm².

En la siguiente tabla se muestran los valores de módulo resistente del perfil y plancha asociada obtenidos para cada caso de carga.

Módulo	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	653	NA	NA
b	537.3	NA	NA
c	862.4	NA	NA
d	641.0	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y el módulo mínimo exigida es de 862.4 cm³.

La siguiente tabla resume las características de los perfiles empleados.

Perfil Utilizado	Espesor(mm)	Área(cm ²)	Módulo Resistente (cm ³)
HP 340 x 12	12	37.3	947.5

La inercia de la plancha asociada y del perfil es

$$I = 21255.96 \text{ cm}^4$$

Con este perfil se analiza el pandeo del mismo, los resultados se exponen en la siguiente tabla.

Caso de carga	Tensión (N/mm ²)	Tensión crítica de pandeo (N/mm ²)	Coefficiente de seguridad de fallo por pandeo
a	88	234	2.65
b	88		2.65
c	87		2.68
d	87		2.68

No hay fallo por pandeo, el coeficiente de seguridad es de 2.65.

Longitudinales de doble fondo

Se cumple que el área del perfil (A) y su módulo resistente (w) no son menores de los exigidos, calculados con:

$$A = 10\gamma_R\gamma_m \frac{\gamma_{s2}PS + \gamma_{w2}PW}{Ry} \cdot \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3$$

$$w = \gamma_R\gamma_m \frac{\gamma_{s2}PS + \gamma_{w2}PW}{12 \cdot (Ry - \gamma_R\gamma_m\sigma_x)} \cdot \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l$$

En la siguiente tabla se muestran los valores de área mínimos obtenidos para cada caso de carga.

Área	Tipo de Análisis		
Caso de carga	General	Sloshing	Impacto
a	10.2	NA	NA
b	14.6	NA	NA
c	10.2	NA	NA
d	10.2	NA	NA

El peor caso de carga es “b” y el área mínima exigida es de 14.6 cm².

En la siguiente tabla se muestran los valores de módulo resistente del perfil y plancha asociada obtenidos para cada caso de carga.

Módulo	Tipo de Análisis		
Caso de carga	General	Sloshing	Impacto
a	443.9	NA	NA
b	638.4	NA	NA
c	443.9	NA	NA
d	443.9	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y el módulo mínimo exigida es de 862.4 cm³.

La siguiente tabla resume las características de los perfiles empleados.

Perfil Utilizado	Espesor(mm)	Área(cm ²)	Módulo Resistente (cm ³)
HP 300 x 11	11	46.7	653.8

La inercia de la plancha asociada y del perfil es

$$I = 21255.96 \text{ cm}^4$$

Con este perfil se analiza el pandeo del mismo, los resultados se exponen en la siguiente tabla.

Caso de carga	Tensión (N/mm ²)	Tensión crítica de pandeo (N/mm ²)	Coefficiente de seguridad de fallo por pandeo
a	73	229	3.13
b	73		3.13
c	72		3.17
d	72		3.17

No hay fallo por pandeo, el coeficiente de seguridad es de 3.13.

Longitudinales de pantoque

Se cumple que el área del perfil (A) y su módulo resistente (w) no son menores de los exigidos, calculados con:

$$A = 10\gamma_R\gamma_m \frac{\gamma_{s2}ps + \gamma_{w2}pw}{Ry} \cdot \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3$$

$$w = \gamma_R\gamma_m \frac{\gamma_{s2}ps + \gamma_{w2}pw}{12 \cdot (Ry - \gamma_R\gamma_m\sigma_x)} \cdot \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l$$

En la siguiente tabla se muestran los valores de área mínimos obtenidos para cada caso de carga.

Área	Tipo de Análisis		
Caso de carga	General	Sloshing	Impacto
a	15	NA	NA
b	12.3	NA	NA
c	22.3	NA	NA
d	15.9	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y el área mínima exigida es de 22.3 cm².

En la siguiente tabla se muestran los valores de módulo resistente del perfil y plancha asociada obtenidos para cada caso de carga.

Módulo	Tipo de Análisis		
Caso de carga	General	Sloshing	Impacto
a	653	NA	NA
b	537.3	NA	NA
c	964.5	NA	NA
d	693.0	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y el módulo mínimo exigida es de 964.5 cm³.

La siguiente tabla resume las características de los perfiles empleados.

Perfil Utilizado	Espesor(mm)	Área(cm ²)	Módulo Resistente (cm ³)
HP 340 x 12	12	62.2	965.8

La inercia de la plancha asociada y del perfil es

$$I = 26455.53 \text{ cm}^4$$

Con este perfil se analiza el pandeo del mismo, los resultados se exponen en la siguiente tabla.

Caso de carga	Tensión (N/mm ²)	Tensión crítica de pandeo (N/mm ²)	Coefficiente de seguridad de fallo por pandeo
a	73	230	3.15
b	73		3.15
c	72		3.19
d	72		3.19

No hay fallo por pandeo, el coeficiente de seguridad es de 3.15.

Costado***Longitudinales costado***

Se cumple que el área del perfil (A) y su módulo resistente (w) no son menores de los exigidos, calculados con:

$$A = 10 \gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{s2} p s + \gamma_{w2} p w}{R_y} \cdot \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3$$

$$w = \gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{s2} p s + \gamma_{w2} p w}{12 \cdot (R_y - \gamma_R \gamma_m \sigma_x)} \cdot \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l$$

- Para valores de $z < 6$ m ($z = 0$ en la línea de base)

En la siguiente tabla se muestran los valores de área mínimos obtenidos para cada caso de carga.

Área	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
Caso de carga			
a	12.4	NA	NA
b	9.6	NA	NA
c	19.94	NA	NA
d	13.3	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y el área mínima exigida es de 19.94 cm².

En la siguiente tabla se muestran los valores de módulo resistente del perfil y plancha asociada obtenidos para cada caso de carga.

Módulo	Tipo de Análisis		
Caso de carga	General	Sloshing	Impacto
a	464.5	NA	NA
b	359.1	NA	NA
c	744.1	NA	NA
d	489.9	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y el módulo mínimo exigida es de 744.1 cm³.

La siguiente tabla resume las características de los perfiles empleados.

Perfil Utilizado	Espesor(mm)	Área(cm ²)	Módulo Resistente (cm ³)
HP 320 x 12	12	58.8	813.9

La inercia de la plancha asociada y del perfil es

$$I = 20344.12 \text{ cm}^4$$

Con este perfil se analiza el pandeo del mismo, los resultados se exponen en la siguiente tabla.

Caso de carga	Tensión (N/mm ²)	Tensión crítica de pandeo (N/mm ²)	Coefficiente de seguridad de fallo por pandeo
a	66	229	3.5
b	66		3.5
c	65		3.6
d	65		3.6

No hay fallo por pandeo, el coeficiente de seguridad es de 3.5.

- Para valores de $z < 6$ m ($z = 0$ en la línea de base)

En la siguiente tabla se muestran los valores de área mínimos obtenidos para cada caso de carga.

Área	Tipo de Análisis		
Caso de carga	General	Sloshing	Impacto
a	9.9	NA	NA
b	6.8	NA	NA
c	17.6	NA	NA
d	10.5	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y el área mínima exigida es de 17.6cm².

En la siguiente tabla se muestran los valores de módulo resistente del perfil y plancha asociada obtenidos para cada caso de carga.

Módulo	Tipo de Análisis		
Caso de carga	General	Sloshing	Impacto
a	326.4	NA	NA
b	221.9	NA	NA
c	574.9	NA	NA
d	345.0	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y el módulo mínimo exigida es de 744.1 cm³.

La siguiente tabla resume las características de los perfiles empleados.

Perfil Utilizado	Espesor(mm)	Área(cm ²)	Módulo Resistente (cm ³)
HP 280 x 12	12	45.5	576.9

- Para valores de $z > 9.48$ m ($z = 0$ en la línea de base)

En la siguiente tabla se muestran los valores de área mínimos obtenidos para cada caso de carga.

Área	Tipo de Análisis		
Caso de carga	General	Sloshing	Impacto
a	7.1	NA	NA
b	3.6	NA	NA
c	15.0	NA	NA
d	7.6	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y el área mínima exigida es de 15.0cm².

En la siguiente tabla se muestran los valores de módulo resistente del perfil y plancha asociada obtenidos para cada caso de carga.

Módulo	Tipo de Análisis		
Caso de carga	General	Sloshing	Impacto
a	233.0	NA	NA
b	116.2	NA	NA
c	492.7	NA	NA
d	247.0	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y el módulo mínimo exigida es de 492.7cm³.

La siguiente tabla resume las características de los perfiles empleados.

Perfil Utilizado	Espesor(mm)	Área(cm ²)	Módulo Resistente (cm ³)
HP 260x 12	12	41.3	481.2

Longitudinales del doble casco

Se cumple que el área del perfil (A) y su módulo resistente (w) no son menores de los exigidos, calculados con:

$$A = 10\gamma_R\gamma_m \frac{\gamma_{s2}ps + \gamma_{w2}pw}{R_y} \cdot \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3$$

$$w = \gamma_R\gamma_m \frac{\gamma_{s2}ps + \gamma_{w2}pw}{12 \cdot (R_y - \gamma_R\gamma_m\sigma_x)} \cdot \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l$$

- Para $z < 6$ m ($z = 0$ en la línea de base).

En la siguiente tabla se muestran los valores de área mínimos obtenidos para cada caso de carga.

Área	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
Caso de carga			
a	13.0	NA	NA
b	19.3	NA	NA
c	13.0	NA	NA
d	13.0	NA	NA

El peor caso de carga es “b” y el área mínima exigida es de 19.3cm².

En la siguiente tabla se muestran los valores de módulo resistente del perfil y plancha asociada obtenidos para cada caso de carga.

Módulo	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	510.8	NA	NA
b	751.2	NA	NA
c	510.8	NA	NA
d	510.8	NA	NA

El peor caso de carga es “b” y el módulo mínimo exigida es de 751.2 cm³.

La siguiente tabla resume las características de los perfiles empleados.

Perfil Utilizado	Espesor(mm)	Área(cm ²)	Módulo Resistente (cm ³)
HP 320x 12	12	54.2	793.4

- Para $6\text{ m} < z < 9.48\text{ m}$

En la siguiente tabla se muestran los valores de área mínimos obtenidos para cada caso de carga.

ÁREA	TIPO DE ANÁLISIS		
	General	Sloshing	Impacto
a	10.2	NA	NA
b	15.8	NA	NA
c	10.2	NA	NA
d	10.2	NA	NA

El peor caso de carga es “b” y el área mínima exigida es de 15.8cm².

En la siguiente tabla se muestran los valores de módulo resistente del perfil y plancha asociada obtenidos para cada caso de carga.

Módulo	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	335.2	NA	NA
b	520.20	NA	NA
c	335.2	NA	NA
d	335.2	NA	NA

El peor caso de carga es “b” y el módulo mínimo exigida es de 520.2 cm³.

La siguiente tabla resume las características de los perfiles empleados.

Perfil Utilizado	Espesor(mm)	Área(cm ²)	Módulo Resistente (cm ³)
HP 280 x 11	11	42.6	537.9

- Para $z > 9.48$ m

En la siguiente tabla se muestran los valores de área mínimos obtenidos para cada caso de carga.

Área	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	8.0	NA	NA
b	13.3	NA	NA
c	8.0	NA	NA
d	8.0	NA	NA

El peor caso de carga es “b” y el área mínima exigida es de 13.3cm².

En la siguiente tabla se muestran los valores de módulo resistente del perfil y plancha asociada obtenidos para cada caso de carga.

Módulo	Tipo de Análisis		
	General	Sloshing	Impacto
a	234.3	NA	NA
b	392.0	NA	NA
c	234.3	NA	NA
d	234.3	NA	NA

El peor caso de carga es “b” y el módulo mínimo exigida es de 520.2 cm³.

La siguiente tabla resume las características de los perfiles empleados.

Perfil Utilizado	Espesor(mm)	Área(cm ²)	Módulo Resistente (cm ³)
HP 260 x 11	11	38.7	537.9

Cubierta

Se cumple que el área del perfil (A) y su módulo resistente (w) no son menores de los exigidos, calculados con:

$$A = 10\gamma_R\gamma_m \frac{\gamma_{s2}p^S + \gamma_{w2}p^W}{Ry} \cdot \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3$$

$$w = \gamma_R\gamma_m \frac{\gamma_{s2}p^S + \gamma_{w2}p^W}{12 \cdot (Ry - \gamma_R\gamma_m\sigma_x)} \cdot \left(1 - \frac{s}{2l}\right) \cdot s \cdot l$$

En la siguiente tabla se muestran los valores de área mínimos obtenidos para cada caso de carga.

Área	Tipo de Análisis		
Caso de carga	General	Sloshing	Impacto
a	2.8	NA	NA
b	3.7	NA	NA
c	4.3	NA	NA
d	1.2	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y el área mínima exigida es de 4.3cm².

En la siguiente tabla se muestran los valores de módulo resistente del perfil y plancha asociada obtenidos para cada caso de carga.

Módulo	Tipo de Análisis		
Caso de carga	General	Sloshing	Impacto
a	133.9	NA	NA
b	182.2	NA	NA
c	213.1	NA	NA
d	60.9	NA	NA

El peor caso de carga es “c” y el módulo mínimo exigida es de 213.1 cm³.

La siguiente tabla resume las características de los perfiles empleados.

Perfil Utilizado	Espesor(mm)	Área(cm ²)	Módulo Resistente (cm ³)
HP 200 x 10	10	25.6	233.83

10. MÓDULO RESISTENTE Y MOMENTO DE INERCIA MÍNIMOS. **TENSIONES ADMISIBLES**

Las reglas de Bureau Veritas para buques con coeficiente de bloque inferior a 0.8 obligan a que el módulo mínimo de la sección de la cuaderna maestra sea al menos:

$$Z_{\min} = n_1 \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (CB + 0.7) \cdot k \cdot 10^{-6} = 18.5649464 \text{ m}^3$$

El momento mínimo tampoco podrá ser de tal forma que con el momento flector en aguas tranquilas y la totalidad del momento flector en olas la tensión obtenida sea mayor que la tensión admisible:

$$Z_{\min} = \frac{M_{WV,S} + M_{WV,H}}{\sigma_{1,ALL}} \cdot 10^{-3} = 18.5640464 \text{ m}^3$$

La tensión normal admisible se calcula según las reglas, para el material seleccionado es:

$$\sigma_{1,ALL} = \frac{175}{k} = 175 \text{ N/mm}^2$$

La tensión tangencial admisible se calcula según las reglas, para el material seleccionado es:

$$\tau_{1,ALL} = \frac{110}{k} = 110 \text{ N/mm}^2$$

El momento de inercia mínimo se calcula como:

$$I_{\min} = 3Z_{\min} \cdot L \cdot 10^{-2} = 114.28027 \text{ m}^4$$

11. CÁLCULO DE MÓDULOS RESISTENTES E INERCIA. TENSIONES

En el anexo del presente cuaderno se pueden consultar los datos obtenidos por los cálculos del programa “MARS2000”, en la siguiente tabla se resumen los datos más destacables de la Cuaderna Maestra.

CARACTERÍSTICA DE LA SECCIÓN	
Área total	4.75736 m ²
Momento de Inercia (eje y), Iyy	427.9597 m ⁴
Momento de Inercia (eje z), Izz	617.2560 m ⁴
Eje neutro respecto línea de base	10.786 m
Módulo resistente en cubierta (respecto eje y), Zc	30.1074 m ³
Módulo resistente en el fondo (respecto eje y), Zf	39.6789 m ³

A continuación se comparan los valores obtenidos con los valores mínimos exigidos por la sociedad de clasificación.

CARACTERÍSTICA DE RESISTENCIA	VALORES CALCULADOS	VALORES EXIGIDOS
Momento de Inercia (eje y), Iyy (m ⁴)	427.9597	173.79919
Módulo resistente en cubierta (respecto eje y), Zc (m ³)	30.1074	28.23249
Módulo resistente en el fondo (respecto eje y), Zf (m ³)	39.6789	

Como primer chequeo estructural, se obtienen las tensiones normales primarias obtenidas son:

- En la cubierta superior:

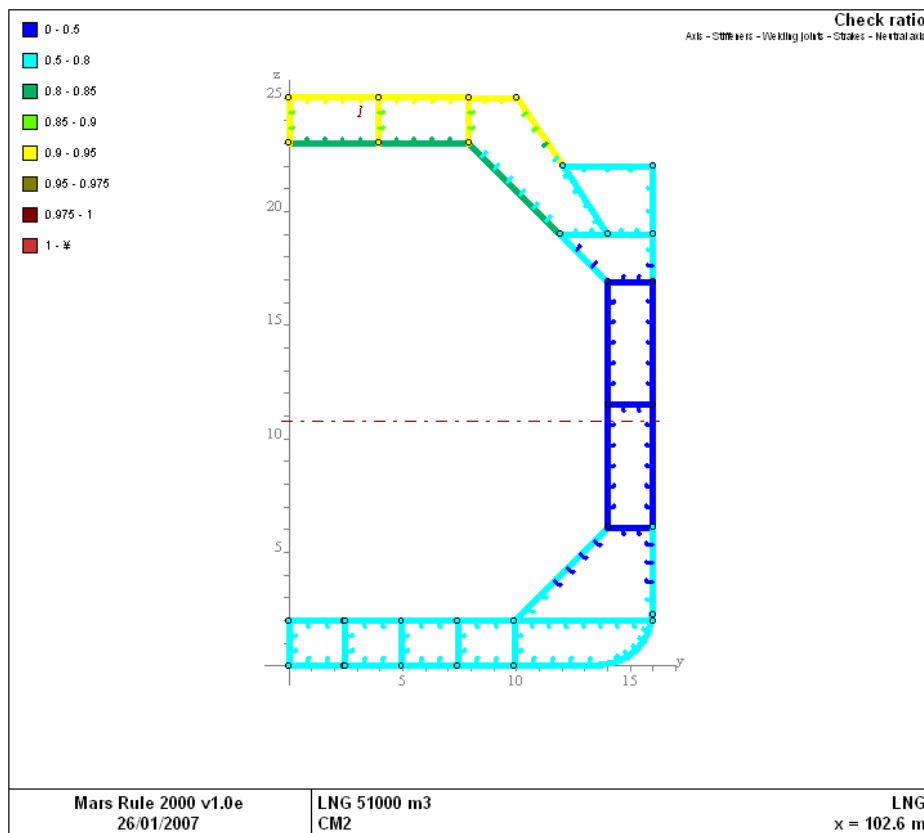
$$\sigma_1 = \frac{M_{sw} + M_{wv}}{Z_c} \cdot 10^{-3} = 164 \text{ N/mm}^2$$

- En el fondo:

$$\sigma_1 = \frac{M_{sw} + M_{wv}}{Z_f} \cdot 10^{-3} = -125 \text{ N/mm}^2$$

Los valores de la tensión normal están por debajo de los valores máximos admisibles como es de esperar al cumplir las reglas de módulo mínimo.

En la siguiente imagen se puede ver el “mapa” de coeficientes de seguridad sobre las planchas y refuerzos de la cuaderna maestra.



PROYECTO FIN DE CARRERA N° 1564

LNG MEMBRANA 51.000 m³

CUADERNO 7

PLANTA PROPULSORA Y CAMARA DE MAQUINAS



ENRIQUE DOPICO

TUTOR: Dn SEBASTIAN ABRIL PÉREZ

1. INTRODUCCIÓN	4
2. EQUIPO PROPULSOR	5
2.1. PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA TURBINA DE VAPOR	8
2.2 LÍNEA DE EJES:	9
3. SISTEMA DE VAPOR	12
3.1 SISTEMA DE VAPOR SOBRECALENTADO	12
3.2 SISTEMA DE VAPOR DESRECALENTADO (desrecalentadores interiores):	13
3.3 SISTEMA DE VAPOR DESRECALENTADO (desrecalentadores exteriores):	14
3.4 SISTEMA DE VAPOR A 16 kg/cm2:	14
3.1 SISTEMA DE SANGRADO DE LA TURBINA DE ALTA PRESIÓN (AP): .	14
3.6 SISTEMA DE VAPOR A 9 kg/cm2:	15
4. SISTEMA DE CONDENSADO Y AGUA DE ALIMENTACIÓN	22
4.1 SITEMA PRINCIPAL Y AUXILIAR DE CONDENSADO	22
4.1.1 SISTEMA DE CONDENSADO PRINCIPAL:	24
4.1.2 SISTEMA DE CONDENSADO AUXILIAR	25
4.2 SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERA	28
4.3 SISTEMA DE DRENAJES LIMPIOS	31
4.4 SISTEMA DE DRENAJES SUCIOS	32
5.- SISTEMA DE AGUA DE MAR	34
5.1 SISTEMA DE CIRCULACIÓN DE AGUA SALADA PRINCIPAL Y AUXILIAR	34
5.2 SISTEMA ANTI-INCRUSTACIÓN	35
5.3 SISTEMA CENTRALIZADO DE REFRIGERACIÓN DE AGUA MARINA.....	36
5.4 SISTEMA DE GENERACIÓN DE AGUA DULCE	40
6.- SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AGUA DULCE	42
6.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AGUA DULCE.....	42
6.2 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AGUA DULCE DE MAQUINARIA DE CARGA	44
7.- SISTEMA DE TRATAMIENTO Y TOMA DE MUESTRAS DEL AGUA DE CALDERA.....	45
8.- SISTEMA SUMINISTROS FUEL OIL Y GAS	48
8.1 SISTEMA DE TRASIEGO Y ALMACENAJE DE FUEL OIL	48

8.2 SISTEMA DE SERVICIO DE DIESEL OIL AL GENERADOR DIESEL Y SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE DIESEL OIL:.....	51
8.3 SISTEMA DE SERVICIO DE GAS Y FUEL OIL A LA CALDERA	52
8.4 SISTEMA DE INCINERACIÓN DE FUEL OIL.....	53
9.- SISTEMAS DE ACEITES LUBRICANTES	55
9.1 SISTEMA DE ACEITE LUBRICANTE DE TURBINA PRINCIPAL	55
9.2 SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE BOCINA.....	56
9.3 SISTEMA DE TRASIEGO Y PURIFICACIÓN DE ACEITE LUBRICANTE	57
9.4 SISTEMA DE TRASIEGO Y LLENADO DE ACEITE LUBRICANTE	58
10.- SISTEMA DE SENTINAS.....	61
10.1 SEPARADOR DE SENTINAS Y SISTEMA DE SENTINAS EN CÁMARA DE MÁQUINAS	61
10.2 SISTEMA DE SENTINAS DE PROA	63
11.- SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	64
11.1 SISTEMA DE AIRE DE CONTROL	64
11.2 SISTEMA DE AIRE DE SERVICIOS GENERALES	65
11.3 SISTEMA DE AIRE DE ARRANQUE.....	67
12.- SISTEMAS DE ACOMODACIÓN.....	69
12.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE GAMBUZA	69
12.2 PLANTA DE AIRE ACONDICIONADO EN ACOMODACIÓN	71
12.3 PLANTA DE AIRE ACONDICIONADO EN CÁMARA DE MÁQUINAS	72
12.4 INCINERADOR Y TRATAMIENTO DE BASURAS	74
12.5 VENTILACION EN CAMARA DE MÁQUINAS	76
NECESIDADES DE VAPOR.....	98
GENERACIÓN DE VAPOR	116

ANEXOS

PLANO DISPOSICIÓN CÁMARA DE MÁQUINAS

1. INTRODUCCIÓN

En buque de transporte de GNL existen diferentes opciones de sistemas de propulsión. En este caso lo más conveniente es el empleo del sistema clásico, mediante turbina de vapor. Existe la posibilidad de la utilización del Gas Natural en motores duales o en turbinas de gas, pero son sistemas que actualmente se encuentran en vías de desarrollo y que en un futuro serán los empleados.

Hoy día, en aplicación terrestres ya existen centrales de cogeneración funcionando con motores duales con todas las garantías posibles.

En este cuaderno se va a realizar un dimensionamiento preciso del equipo propulsor y elección del tipo o tipos de combustible. Se analizarán los servicios y equipos situados en la cámara de máquinas, entre los cuales podemos distinguir los siguientes:

- ✓ Combustible.
- ✓ Aceite.
- ✓ Agua salada.
- ✓ Agua dulce.
- ✓ Aire comprimido.
- ✓ Vapor con estimación de balance.
- ✓ Ventilación, impulsión y extracción.
- ✓ Servicios de casco.
- ✓ Servicios de carga.
- ✓ Servicios de habilitación.
- ✓ Servicios ecológicos.
- ✓ Servicios hidráulicos.

Finalmente se realizara un plano de disposición general de cámara de maquinas, con las secciones necesarias en planta, longitudinales y transversales.

2. EQUIPO PROPULSOR

La posibilidad de utilizar, como combustible, el metano procedente de la vaporización ("Boil-Off") que se origina en los tanques de carga supone una ventaja económica, que reduce de forma significativa los costes de explotación. En este beneficio económico se basa la decisión adoptada de utilizar dichos gases como fuente de energía de la planta propulsora. El estado actual de la tecnología permite afirmar que la combustión de dicha fuente de energía puede efectuarse en condiciones aceptables de seguridad, en calderas, motores diesel y turbinas de gas. A bordo de buques LNG la alternativa más popular, y por lo tanto más frecuentemente empleada, la constituyen las calderas.

La razón principal para la masiva utilización de plantas propulsoras de vapor es la variabilidad de la cantidad de gas de vaporización (0,1% a 0,2% de la capacidad de carga/día). Dicha variación depende de las temperaturas ambientales, la cantidad de carga existente y del espesor del aislante instalado en el interior de los tanques (GTT N°96). Como consecuencia de esta variabilidad se registran grandes diferencias entre la propulsión y la demanda en las distintas condiciones en que se encuentra el buque (navegando a plena carga, descargando en puerto, navegando en la condición de lastre y cargando en puerto). Existen condiciones en la que la producción de "Boil-Off" es netamente superior a las necesidades de a bordo, y existen, también, ocasiones en las que sucede lo contrario. Este desequilibrio entre la producción y la demanda requiere la adopción de medidas para compensar dicho desequilibrio.

En cuanto al tratamiento de los excedentes diremos que la relicuefacción a bordo no ha gozado del favor de los armadores, debido al coste elevado y el empacho de dichos equipos. Por lo cual para quemar dichos excedentes se utilizan calderas.

En situaciones de falta de "Boil-Off", resulta imprescindible suplir el correspondiente déficit mediante la adición de otros tipos de combustible, tales como el fuel-oil o diesel-oil. La necesidad de utilizar al mismo tiempo dos tipos distintos de fuentes de energía exige, por un parte, que la maquinaria principal sea capaz de quemar ambas simultáneamente y, por otra parte, la instalación de un sistema dual de combustible. El funcionamiento bajo la modalidad de combustible dual presenta importantes dificultades en los motores diesel de 2 tiempos y que, hasta el momento, no han sido totalmente superadas. Dichas dificultades se centran en los problemas de pre-ignición y de control, así como la necesidad de emplear gas natural a alta presión. Los motores de 4 tiempos ofrecen un comportamiento bastante más satisfactorio. Dicho motor dual de 4 tiempos será utilizado para obtener energía eléctrica a bordo mediante

un generador acoplado a un motor Wärtsilä 9R32DF de combustible dual. Las turbinas de gas, inédita o casi inédita en buque LNG, tiene que resolver los problemas que plantea la combustión dual, quemando mezclas de fuel-oil y gas metano, así como su elevado coste. Las calderas de vapor ofrecen una respuesta satisfactoria tanto en las situaciones de exceso de Boil-Off como en las de déficit. Esto hechos han hecho que se adopte una propulsión compuesta por una instalación con caldera y turbinas (alta y baja presión) de vapor. El vapor también se utilizara para generación de energía eléctrica gracias a 2 turbogeneradores. El código "IGC" en su capítulo 16, establece los requisitos que debe cumplir el buque para la utilización de gas natural como combustible. Entre las distintas disposiciones de seguridad, contenidas en este capítulo, destacaremos las siguientes:

- ✓ El metano, salvo autorización especial, solamente puede ser utilizado en calderas, generadores de gas inerte y máquinas de combustión.
- ✓ Las tuberías de alimentación de gas no deberán pasar por espacios de acomodación, espacios de servicios o por estaciones de control. Las tuberías de alimentación de gas podrán pasar por otros espacios cuando se cumplimente alguna de las dos alternativas que se mencionan a continuación:
 - Las líneas de alimentación deben de estar constituidas por dos tubos concéntricos y el gas deberá circular por el tubo interior. El espacio entre ambos tubos concéntricos debe estar presurizado mediante gas inerte. Se dispondrán alarmas adecuadas para indicar la pérdida de presión en el espacio existente entre los tubos.
 - La tubería de alimentación de gas será instalada dentro de un conducto provisto de ventilación mecánica, capaz de realizar 30 renovaciones por hora como mínimo y mantener una presión inferior a la atmosférica. Se dispondrán detectores continuos de gas (indicadores de la existencia de fugas) capaces de activar una alarma cuando la proporción de gas alcance el 30% del límite de inflamabilidad inferior (LEI). Estos detectores deberán cortar el suministro de gas a los espacios de máquinas antes de que la concentración del mismo alcance el 60% del límite arriba citado.
- ✓ Cada caldera debe estar provista de tres válvulas automáticas. Dos de estas válvulas han de instalarse, en serie, en la línea de suministro de gas, y deben cerrarse automáticamente cuando se produzca alguno de los siguientes eventos:
 - Fallo en la ventilación forzada.
 - Ausencia de llama en el quemador de la caldera.

- Presión anormal en la línea de alimentación de gas.
- Fallo en el actuador de la válvula de control.
- ✓ La tercera válvula se dispondrá en un tubo de venteo capaz de descargar a la atmósfera, y en lugar seguro, la cantidad de gas existente entre las dos válvulas dispuestas en serie y citadas anteriormente. Dicha válvula deberá abrir automáticamente cuando se produzca alguno de los eventos arriba mencionados.
- ✓ Se deberá instalar, fuera de la cámara de máquinas, una válvula maestra susceptible de cerrarse desde dentro de dichos espacios. La válvula maestra deberá cerrar automáticamente por cualquiera de las siguientes causas:
 - Detección de fuga de gas.
 - Pérdida de presión del gas inerte, o fallo en la ventilación en la línea de alimentación de gas.

Una vez planteados las ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de propulsión principal se optado por la utilización de un sistema de propulsión principal compuesto por:

- ✓ Turbina principal, compuesta por una turbina de alta presión y otra de baja presión.
- ✓ Reductora y chumacera de empuje.
- ✓ Condensador.
- ✓ Eyector de aire y condensador de sellado.
- ✓ Caldera principal.

Se ha seleccionado una turbina Kawasaki UA-200 capaz de suministrar 14.700 kW a 57 rpm, que es la potencia que se ha estimado que va a ser necesaria para cumplir las condiciones de proyecto. Dicha estimación ha sido realizada en el cuaderno 5. Las condiciones del vapor principal serán 60 kg/cm² de presión y una temperatura de 510°C, por lo cual será vapor sobrecalentado.

Para la selección de dicho equipo se ha considerado un margen de potencia que trata de asegurar el cumplimiento de las especificaciones de proyecto en condiciones de mala mar, así como reservar un cierto colchón extra respecto al punto de funcionamiento de proyecto.

Se tomara un margen de 21% para mala mar.

El punto de funcionamiento de la hélice obtenido en el cuaderno 5 es de 57 rpm y una MCR de 14.700 kW, que se ha obtenido teniendo en cuenta el margen de mar del 21%. El barco trabajará al 90% del MCR para que cuando se produzca el ensuciamiento del casco, lo que

produce un aumento en la estela, no se produzcan sobrecargas en el equipo propulsor por culpa de la hélice.

2.1. PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA TURBINA DE VAPOR

Tipo UA-200

Turbina AP	Una etapa con dos ruedas Curtis y ocho etapas Roteau.
Turbina BP	Cuatro etapas Roteau y cuatro de reacción
Potencia Máxima	14.700 kW
Normal	11.800 kW
Velocidad turbina AP	4.777 rpm al MCR
Velocidad turbina BP	3.153 rpm al MCR
Velocidad hélice	57 rpm al MCR
Velocidades críticas	62,5 y 116,7 rpm
Disparo por sobrevelocidad	103,5 rpm
Condiciones de vapor	60,5 kg/cm2 sobrecalentado a 510°C
Sentido de giro	Sentido de las agujas de reloj visto desde popa
Sangrados Alta presión	5ª etapa turbina AP
Media presión	Tubería conexión turbinas
Baja presión	3ª etapa turbina BP

Reductora Doble helicoidal, articulada en tandem, doble reducción	
Bomba de aceite principal accionada por turbina, de engranajes	210 m ³ /h a 4 kg/cm ²
Filtro aceite lubricante Nikura Kogya Co. Ltd. Modelo 200A	210 m ³ /h

El vapor a 60 kg/cm² es suministrado a la caldera mediante las tuberías de vapor principal, pasando por el tamiz principal de vapor y la válvula principal de parada o la válvula de maniobra.

El vapor posteriormente se suministra por la cámara de toberas y las toberas. Las toberas de la primera etapa de la turbina de alta presión cuentan con una válvula reguladora principal que cuenta con 22 toberas. Además cuenta con dos válvulas extras de toberas con 9 y 8 toberas respectivamente. El vapor pasa a través de las dos ruedas Curtis y las 8 etapas Roteau para finalmente llegar a la cámara de exhaustación de la turbina de alta presión. Una vez sucede esto el vapor pasa a la turbina de baja presión mediante una tubería de conexión. En la turbina de baja presión el vapor pasa por 4 etapas Roteau y 4 etapas de reacción para pasar finalmente al condensador.

La instalación cuenta con una pequeña turbina para marcha atrás, la cual es una turbina de impulso situada en la parte final de la turbina de baja presión. El vapor entra por la válvula de maniobra para pasar por las etapas Curtis (2 ruedas de paletas). El vapor sale al condensador principal después de pasar por esta turbina.

La turbina cuenta con un sistema de sellado mediante vapor el cual se detalla con posterioridad en el sistema de vapor de sellado. La turbina también cuenta con eyectores de aire y un condensador de vapor de sellado, los cuales también son explicados.

2.2 LÍNEA DE EJES:

Como ya se ha dicho anteriormente la turbina va conectada a la chumacera de empuje y a la reductora. La conexión entre la reductora y la hélice se realiza mediante una línea de ejes

rígida formada por dos ejes intermedios y un eje de cola que serán diseñados con una longitud adecuada de tal forma que permita su desmontaje para revisión o reparación.

La reductora está instalada en el propio armazón de la turbina. La reductora cuenta dos piñones iniciales, dos ruedas de engranajes iniciales, dos piñones secundarios y una rueda de engranajes secundaria. Las dos turbinas, la de alta y la de baja, están conectadas a los dos primeros piñones de la reductora mediante un acoplamiento elástico. Estos piñones mueven las ruedas de engranajes. Esta rueda de engranajes está conectada mediante un eje flexible con acoplamientos flexibles a los segundos piñones, los cuales mueven la segunda rueda de engranajes.

La chumacera de empuje está situada en una carcasa separada de la reductora entre el eje y la reductora. Un motor reversible de 11 kW a 1.730 rpm es instalado, conectado a la reductora en el primer piñón de la turbina de alta, para hacer girar la turbina para ponerla en funcionamiento.

La lubricación de la turbina y sus equipos se detalla en el sistema de lubricación.

La reductora irá directamente acoplada a un eje intermedio con platos de acoplamiento en ambos extremos. A este eje intermedio se le acoplará el siguiente eje intermedio. Finalmente se acoplará el eje de cola a este último eje intermedio. En los puntos intermedios del eje de cola y el eje intermedio se colocarán las chumaceras de apoyo del eje. En dichos puntos los espesores de los ejes se incrementarán en 5 mm.

Los diámetros de los ejes intermedios y del eje de cola ya fueron calculados siguiendo la normativa de la sociedad de clasificación. Se obtuvieron los siguientes valores:

Eje propulsor 800 mm diámetro

Ejes intermedios 670 mm diámetro

El eje de cola será de acero forjado con un plato de acoplamiento enterizo en su extremo de proa. El eje de cola tendrá en su extremo de popa una zona cónica y otra roscada a mano izquierda para la tuerca de apriete hidráulico, para su acoplamiento a la hélice.

Las chumaceras de apoyo serán de tipo casquillo desmontable y lubricado.

La reductora será en tandem articulada, con doble reducción, doble helicoidal, con unas entradas de 4777 rpm de la turbina de alta presión y de 3153 rpm de la turbina de baja presión y una salida de 57 rpm suministrando una potencia de 14.700 kW.

Los cálculos de la reductora son los siguientes:

Relaciones reductora

✓ Revoluciones turbina AP 4.777

- ✓ Revoluciones turbina BP 3.153
- ✓ Revoluciones hélice 57
- ✓ Relación de reducción 1ª rueda AP 7,3490 (4.777 rpm - 650 rpm)
- ✓ Relación de reducción rueda principal AP 11,4 (650 rpm - 57 rpm)
- ✓ Relación reducción total AP 83,8
- ✓ Relación de reducción 1ª rueda AP 6,0635 (3.153 rpm - 520 rpm)
- ✓ Relación de reducción rueda principal AP 9,123 (520 rpm - 57 rpm)
- ✓ Relación reducción total AP 55,3

Siguiendo las especificaciones del fabricante de la turbina, Kawasaki, se calculan las capacidades de los distintos auxiliares. Estos auxiliares se detallan en el presente cuaderno.

La planta de turbina lleva asociada un condensador de superficie de un solo paso, con un vacío de 722 mmHg, una superficie de refrigeración de 2.160 m², un caudal de agua de mar de 10.800 m³/h, una temperatura del agua de refrigeración de 24°C y una temperatura de salida del condensado de 34°C.

A continuación se procede a detallar los diferentes sistemas que también se pueden encontrar en la cámara de máquinas.

3. SISTEMA DE VAPOR

3.1 SISTEMA DE VAPOR SOBREALENTADO

El elemento principal de este sistema es la caldera principal. En el caso del buque proyecto tras realizar un balance de vapor, el cual se muestra al final de este cuaderno, se ha seleccionado una caldera de vapor con las siguientes características:

Caldera principal

- ✓ Fabricante Mitsubishi Heavy Industries Ltd.
- ✓ N° Quemadores 2
- ✓ Modelo MB-4E Dos cuerpos tubos agua circulación natural
- ✓ Evaporación máxima 65.000 kg/h
- ✓ Evaporación normal 50.000 kg/h al 100% MCR
- ✓ Condiciones de vapor 61,5 kg/cm² vapor sobrealementado 515°C
- ✓ Válvulas seguridad Cuerpo 74 kg/cm² y 73,5 kg/cm²
- ✓ Salida sobrealementador 63,3 kg/cm²

Todo el vapor requerido por el barco es producido en dos calderas principales. El vapor del cuerpo de la caldera pasa primeramente por la sección del sobrealementador a través de unos orificios donde la caída de presión es medida y convertida señal, la cual es asignada a un caudal de vapor.

Esta señal será de vital importancia para el sistema IAS (Integrated Automation System) de gobierno del sistema.

El vapor fluye por la primera sección del sobrealementador y posteriormente por la segunda sección del sobrealementador. Se toma parte del vapor a la salida de la primera sección de sobrealementador pasándolo por el control de temperatura del desobrealementador, situado en el depósito de agua, esto hace que se controle la temperatura de salida del vapor del sobrealementador.

Las válvulas de control regulan la salida del desobrealementador a la segunda sección del sobrealementador dependiendo de la temperatura de salida del vapor vivo de la caldera.

Las válvulas principales de parada de la turbina interconectan ambas calderas, donde una línea común suministra vapor a la turbina. De la misma forma están conectados ambos turbogeneradores y las bombas de alimentación a las calderas. Estos circuitos han sido

diseñados para soportar la maquinaria auxiliar de cada caldera teniendo un amplio margen de seguridad o una gran flexibilidad. Todas las válvulas de parada principal están equipadas con válvulas de bypass por razones de seguridad.

El vapor a la salida del sobrecalentador es llevado al desobrecalentador interno, situado en el colector de vapor, donde es distribuido a los distintos servicios donde se requiere vapor desrecalentado.

Los servicios a los cuales suministra vapor el sistema de vapor sobre recalentado son los siguientes:

- ✓ Turbo bombas principales de agua de alimentación.
- ✓ Turbina principal.
- ✓ Sistemas de vapor desrecalentado.

3.2 SISTEMA DE VAPOR DESRECALENTADO (desrecalentadores interiores):

Los desrecalentadores están instalados en el colector de vapor de cada caldera. El vapor sobrecalentado es llevado al desrecalentador interno el cual permite el intercambio del calor entre el vapor sobrecalentado que ha entrado y el vapor saturado/agua que hay en el colector de vapor.

Como consecuencia de esto, el calor que se ha tomado con anterioridad en el sobrecalentador es recuperado y no se producen pérdidas de energía. El vapor desrecalentado que se ha producido es conducido al sistema de vapor desrecalentado a través de dos válvulas de parada, una primaria y una secundaria. Ambas calderas suministran a un colector común del cual posteriormente se distribuye a los servicios auxiliares.

Los servicios a los cuales suministra el sistema principal de vapor desrecalentado son los siguientes:

- ✓ Conexión de emergencia de la turbina a la turbina de baja presión.
- ✓ Sistema principal de descarga de vapor.
- ✓ Al sistema de vapor de 16 kg/cm² mediante válvula reductora de 60/16 kg/cm².
- ✓ Al sistema de vapor de 9 kg/cm² mediante válvula reductora de 60/9 kg/cm².
- ✓ Al sistema de sopladores de hollín de las calderas mediante válvula reductora de 60/16 kg/cm².

3.3 SISTEMA DE VAPOR DESRECALENTADO (desrecalentadores exteriores):

También existen dos desrecalentadores exteriores después de las válvulas reductoras de presión de 60/9 kg/cm² donde la temperatura del vapor es reducida a 190°C antes de suministrar dicho vapor a los sistemas auxiliares. El agua de alimentación para cada uno de los desrecalentadores exteriores es tomada de la línea principal o auxiliar de alimentación, reduciendo la presión antes de pasar por las válvulas de inyección de alimentación para el control de la temperatura. Estas válvulas inyectan agua de alimentación directamente a las tuberías de vapor reduciendo la temperatura del vapor antes de que éste entre en el sistema de vapor auxiliar. El sistema de desrecalentado es montado con un conducto de recirculación después de la reducción de presión pero antes de las válvulas de inyección.

La válvula reductora de presión va equipada con válvulas de bypass para usar en caso de emergencia por mal funcionamiento de la válvula reductora.

El sistema IAS controla en todo momento la presión desde el sistema de vapor desrecalentado hasta los sistemas de vapor a 16 kg/cm² y 9 kg/cm² y soplado de hollín. Este sistema también controla la temperatura del sistema de vapor auxiliar mediante transmisores de temperatura colocados en la tubería de salida de los desrecalentadores exteriores.

3.4 SISTEMA DE VAPOR A 16 kg/cm²:

El vapor del sistema de 16 kg/cm² se obtiene del sangrado de la turbina de alta presión o bien desde la válvula reductora de presión de 60/16 kg/cm². Este sistema de vapor alimenta a:

- ✓ Eyector de aire principal.
- ✓ Ambos evaporadores de los eyectores de aire.
- ✓ Para obtener vapor a 9 kg/cm² mediante válvula reductora de 16/9 kg/cm².

La reducción 16/9 kg/cm² solo puede operar en situaciones donde el sangrado de la turbina de alta presión está suministrando exceso de vapor a 16 kg/cm² y la reducción de 60/16 kg/cm² está cerrada.

El sistema de vapor a 16 kg/cm² está equipado con válvulas de seguridad taradas a 22kg/cm² las cuales protegen al sistema de sobrepresiones. La válvula reductora de 60/16 kg/cm² está equipada con un bypass manual mediante el cual se puede suministrar vapor a 16 kg/cm² al sistema solo en situación de emergencia.

3.1 SISTEMA DE SANGRADO DE LA TURBINA DE ALTA PRESIÓN (AP):

El sistema de sangrado de la turbina de alta presión (AP) obtiene el vapor de la 5 etapa de la turbina de alta presión. La válvula de sangrado abre automáticamente cuando detecta la

presión en el punto de sangrado. El vapor de sangrado a 16 kg/cm² se usa para suministrar vapor al sistema de eyectores de aire además del suministrado por los desrecalentadores de la caldera a través de la válvula reductora 60/16 kg/cm². La válvula de sangrado abre a una presión de 13,5 kg/cm² y cierra 12,5 kg/cm².

También se monta una válvula de no retorno en el sistema de sangrado a 16 kg/cm² para prevenir que el sistema de 16 kg/cm² alimente a la turbina de alta presión. También se instala una válvula de reductora de 16/9 kg/cm² con el mismo propósito anterior, evitar la alimentación de la turbina de alta presión con el sistema de vapor de 16 kg/cm².

La válvula de sangrado de la turbina de AP está controlada por el sistema IAS aunque también puede ser operada manualmente. Los sistemas reductores de 60/16 kg/cm² y 16/9 kg/cm² también son controlados por el sistema IAS mediante medidores de presión locales.

3.6 SISTEMA DE VAPOR A 9 kg/cm²:

El sistema de vapor a 9 kg/cm² está alimentado mediante el sistema reductor 60/9 kg/cm² o mediante el sistema reductor 16/9 kg/cm². El sistema IAS controla la presión de las válvulas reductoras de presión del sistema para alimentar a los siguientes sistemas:

- ✓ Purgas de vapor de las líneas del FO a las calderas.
- ✓ Atomización de vapor en el FO de calderas.
- ✓ Ahogador de vapor de la caja de aire de las calderas.
- ✓ Válvula reductora de 9/2,7 kg/cm².
- ✓ Sistema de vapor a baja temperatura a 9 kg/cm².

Cuando la velocidad de la turbina de AP aumenta la válvula de sangrado se abre, permitiendo que las válvulas del sistema de vapor a 16 kg/cm² empiecen a abrirse, por lo cual el operador de la turbina puede empezar a cerrar las válvulas reductoras de 60/9 kg/cm².

El sistema de vapor a 9 kg/cm² cuenta con válvulas de seguridad taradas a 10 kg/cm², para proteger al sistema de posibles sobrepresiones. La etapa reductora de 60/9 kg/cm² cuenta con un bypass manual capaz de suministrar vapor al sistema solo en situaciones de emergencia.

Las líneas del atomizador de vapor de ambas calderas están conectadas permanentemente al sistema de vapor de 2,7 kg/cm². Esta conexión está realizada en orificios de 6 mm para reducir la cantidad de vapor perdido en el sistema de vapor de baja presión. Esto se hace para evitar vías de agua que puedan entrar en el quemador produciendo un fallo en la llama.

Sistema de vapor de baja temperatura 9 kg/cm²:

El sistema de vapor de baja temperatura a 9 kg/cm² es alimentado por el sistema de vapor a 9 kg/cm² a través de los desrecalentadores externos. La temperatura es llevada hasta los 190°C gracias al sistema de rociado de agua de alimentación en las tuberías de vapor, proceso descrito anteriormente. La presión del agua de alimentación principal es muy alta por lo cual se reduce hasta lo 20 kg/cm² mediante una válvula reductora de presión. Este sistema es utilizado para múltiple propósitos de calentamiento en cámara de máquinas. Los servicios a los cuales suministra vapor son los siguientes:

- ✓ Calentadores tanques.
- ✓ Calentadores FO.
- ✓ Calentadores purificadora.
- ✓ Calentadores agua potable.
- ✓ Atomizador y calentador de vapor del generador de gas inerte.
- ✓ Servicios de incinerador.
- ✓ Limpieza de quemadores.
- ✓ Desengrasador.
- ✓ Aire acondicionado.
- ✓ Limpieza tomas de mar.
- ✓ Servicios de cubierta.
- ✓ Calentador tanque de observación.

Este sistema tiene en dos partes bien diferenciadas, las cuales montan válvulas reductoras de presión para bajar la presión del vapor a la entrada de estas partes. Estas partes son:

- ✓ *Calentador del purificador:* Los tres purificadores instalados reciben vapor a una presión de 6 kg/cm². Esta parte del sistema cuenta con válvula de seguridad taradas a 8 kg/cm² para evitar posibles problemas de sobrepresión el en circuito. La válvula de regulación esta equipada con un bypass para utilizar en caso de emergencia.
- ✓ *Desengrasador y aire acondicionado:* Esta parte utiliza una válvula reductora de presión para obtener los 4 kg/cm² de presión de trabajo. También cuenta con válvulas de seguridad taradas a 5 kg/cm² para evitar sobrepresión en el circuito. La válvula de regulación esta equipada con un bypass para utilizar en caso de emergencia.

Sistema de exhaustación de media presión:

El sistema de exhaustación de media presión opera a una presión de 2,7 kg/cm² y es alimentado por tres fuentes diferentes:

- ✓ Sangrado media presión de turbina.
- ✓ Exhaustación de la turbo bomba de agua de alimentación.
- ✓ Válvula reductora de presión de 9/2,7 kg/cm².

Durante la operación normal de la planta propulsora siempre hay una turbo bomba de agua de alimentación funcionando. Esta turbo bomba exhausta a una línea común, la cual alimenta el sistema de exhaustación de baja presión.

El sangrado de media presión de la turbina se realiza tanto en la turbina de alta presión como en la de baja presión. Este sangrado es exactamente igual al explicado anteriormente en el sangrado a 16 kg/cm². En el sangrado de baja presión las válvulas esta taradas para que abran a 3,8 kg/cm² y cierran cuando la presión sea de 3,3 kg/cm². Esta línea esta constantemente drenando al condensador principal mediante un orificio situado antes de la válvula automática de sangrado.

Pero puede suceder que el vapor obtenido mediante los procesos anteriores no sea suficiente para la demanda de vapor, por lo cual se puede suministrar vapor desde el sistema de vapor a 9 kg/cm² gracias a la válvula reductora de presión 9/2,7 kg/cm².

En ocasiones puede producirse que la producción de vapor sea superior a la demanda, ese exceso de vapor es mandado al condensador principal. Si el condensador principal esta parado el vapor se manda al condensador auxiliar.

El sistema de exhaustación de media presión alimenta a los siguientes servicios:

- ✓ Vapor de sellado para turbina principal y turbo generador.
- ✓ Calentadores de aire vapor calderas.
- ✓ Alimentador calor al desaireador.
- ✓ Calentamiento mediante vapor.

El desaireador es utilizado para la liberación de los gases incondensables que se han formado en el condensador. El desaireador también esta montado en el sistema de vapor de sellado en una válvula de seguridad tarada a 3,8 kg/cm².

El calentamiento mediante vapor se utiliza para calentar la turbina cuando va despacio o se pone en marcha. El vapor se inyecta en la entrada de la turbina de AP pasando por toda la maquinaria de la turbina hasta el condensador, aumentando la temperatura hasta la temperatura necesaria para que la planta trabaje en condiciones seguras de operación. Este vapor está protegido del vapor sobrecalentado mediante una válvula doble de no retorno.

El sistema de vapor de sellado de la turbina principal y el turbogenerador cuentan con orificios que exhaustan directamente al condensador. Estos orificios tiene la razón de ser de garantizar el flujo de vapor a la entrada del sistema de sellado y la de condensar el vapor del sistema cuando el sistema de sellado no sea requerido.

Los calentadores de aire de la caldera funcionan constantemente cuando la caldera está en funcionamiento.

Sistema exhaustación de baja presión:

El sistema de exhaustación de baja presión opera a una presión de 0,1 kg/cm² y es alimentado mediante dos formas:

- ✓ Sangrado de turbina de baja presión.
- ✓ Válvula reductora de presión 2,7/0,1 kg/cm².

El sangrado de baja presión se realiza en la turbina de baja presión (BP) en la tercera etapa y esta controlada por una válvula manual.

Si el caudal de vapor no es el suficiente se puede obtener vapor mediante la válvula reductora de presión 2,7/0,1 kg/cm². Esta válvula es controlada por el sistema IAS, el cual controla la presión mediante medidores de presión locales.

El sistema de exhaustación de baja presión suministra a los siguientes servicios:

- ✓ Calentadores de vapor de los generadores de agua dulce (2).
- ✓ Calentador alimentación baja presión.

Los generadores de vapor controlan la cantidad de vapor demandada por los evaporadores.

Estos generadores tienen instalados sprays de agua de condensado desrecalentada en las líneas de alimentación de vapor. Estos sprays están alimentados por el sistema de condensado y son utilizados para enfriar el vapor antes de entrar en contacto con las paredes del intercambiador de calor.

El calentador de alimentación de baja presión se usa para empujar el calor del condensador al desaireador. Este equipo monta válvulas de seguridad para proteger el calentador en caso de que se produzca una desvaporización del sistema.

Sistema de vapor de sellado:

El vapor de sellado para la turbina principal y para el turbogenerador es suministrado por el sistema de exhaustación de media presión.

En el final de los rotores de la turbina se han utilizado sellos de tipo laberinto, para evitar la salida de vapor al exterior y lo que es más importante evitar que entre aire en el mecanismo de

la turbina donde la presión es inferior a la atmosférica. El adecuado juego axial entre el rotor y el laberinto permite el movimiento axial y la expansión entre el rotor y la carcasa.

El vapor de sellado es suministrado desde un depósito de vapor de sellado, montado en la turbina. Cuando la presión del vapor en el interior de la turbina es superior a la presión en la carcasa de sellado, el vapor puede entrar a través de una serie de diafragmas desde la turbina.

El condensador de vapor de sellado es de tipo horizontal, de tubos rectos y con ventilador de exhaustación en la parte superior. Tiene tubos de refrigeración a través de los cuales pasa el condensado para tener una refrigeración media. El vapor de sellado y el aire se recogen en el condensador de vapor de sellado. El aire y los gases no condensados son sacados mediante el ventilador instalado en la parte superior. Esta unidad está combinada con el eyector de aire de condensado principal, el eyector de aire utiliza los tubos de condensado para condensar el vapor que se ha producido durante esta operación. Este condensador recibe los goteos desde los turbogeneradores, turbo bombas de alimentación y los drenajes del desaireador. El sistema cuenta con una conexión con el condensador atmosférico para recoger los goteos del vapor de sellado en caso de ser necesario. El condensado del vapor de sellado es llevado al tanque de drenaje atmosférico. El sistema está diseñado de tal forma que no se pierda el vacío creado en el condensador de vapor de sellado mediante el ventilador de exhaustación de vapor de sellado.

En el sistema de sellado de vapor de la turbina principal la presión en el tanque es controlada por dos válvulas de control accionadas por aire (neumáticas). La primera válvula actúa como reductora de presión desde los 2,7 kg/cm² mientras que la segunda se usa para desviar el exceso de vapor al condensador principal. Si estamos en la zona de sellado de baja presión, la válvula se abre permitiendo la llegada del vapor de sellado al sello. En el caso de alta presión también se manda vapor al condensador principal mediante la válvula. Ambas válvulas van equipadas con un bypass manual para utilizar en caso de emergencia. El tanque de vapor de sellado es constantemente drenado mediante un orificio. La presión de vapor se mantiene entorno a los 0,2 kg/cm².

En el caso del sellado de alta presión, el sello cuenta con dos puntos de goteo más para evitar que entren dichos goteos dentro de la turbina cuando esta está en funcionamiento.

El sellado del turbo generador es prácticamente igual al sellado de la turbina principal. En este caso el exceso de vapor se manda a la línea de exhaustación de la turbina. Los goteos de los sellos de las válvulas de parada principal y de las válvulas de regulación se llevan al condensador de sellado.

Los sellos de los ejes de la turbo bombas de alimentación y los sellos de las válvulas de control de vapor trabajan con presiones positivas, por lo cual no es necesario utilizar el vapor para sellarlo. El condensado en los sellos es llevado al condensador de sellado.

En el condensador se utiliza un desaireador para extraer los gases no condensados. Consta de una válvula de venteo y otra aislada. La posición de estas válvulas depende del análisis realizado al agua de alimentación.

Sistema descarga vapor:

Las principales válvula empleadas en este sistema son:

- ✓ *Válvula de seguridad drenaje vapor:* Dicha válvula tiene una presión de apertura de 78-77,5 kg/cm² y una presión de cierre de 72,5-72,075 kg/cm².
- ✓ *Válvula de seguridad descarga vapor sobrecalentado:* Dicha válvula tiene una presión de apertura de 63,3 kg/cm² y una presión de cierre de 58,9 kg/cm².

Las válvulas de seguridad montadas en la caldera tienen como misión proteger la caldera de cualquier daño producido por sobrepresión. Las válvulas instaladas son las siguientes:

- ✓ Salida economizador de agua de alimentación (1).
- ✓ Drenaje vapor (2).
- ✓ Salida vapor sobrecalentado (1).

El vapor es descargado por las válvulas de seguridad a través de la chimenea por una línea especial de tuberías. Dichas tuberías no están en contacto directo con la válvula. Esto permite la reacción de descarga de la válvula de seguridad, se protege de la vibración de la descarga y permite la expansión de la válvula y la tubería sin tener problemas de tensión producidos por los cambios de temperatura. Este sistema de tuberías es independiente para cada caldera, por lo cual hay 2 instalados en el buque proyecto.

Los sistemas de vapor instalados en espacios de cámara de máquinas están equipados con válvulas de seguridad en varios puntos para proteger las partes del sistema de las sobrepresiones.

Estos sistemas incluyen las siguientes válvulas de seguridad:

- ✓ Válvula seguridad desaireador (3,8 kg/cm²).
- ✓ Válvula seguridad para rango 16 kg/cm².
- ✓ Válvula seguridad para rango 9 kg/cm².
- ✓ Válvula seguridad para rango 4 kg/cm².

- ✓ Válvula seguridad drenaje desrecalentado principal.

Los venteos de las calderas están abiertos durante el incremento de producción de vapor.

Estos venteos garantizan el flujo del vapor durante el periodo de incremento de producción de vapor. La construcción de las tuberías de venteo de la caldera es similar a las tuberías de las válvulas de seguridad. Esta línea de tuberías lleva instada un silenciador para reducir los niveles de ruido en cubierta cuando los venteos están abiertos.

4. SISTEMA DE CONDENSADO Y AGUA DE ALIMENTACIÓN

4.1 SITEMA PRINCIPAL Y AUXILIAR DE CONDENSADO

Los equipos principales utilizados en estos sistemas son los siguientes:

Bomba condensado principal
N° Elementos 2
Capacidad 80 m ³ /h a 90 m
Características 440 V, 28 kW, 1.800 rpm

Bomba condensado baja capacidad
N° Elementos 1
Capacidad 20 m ³ /h a 75 m
Características 440 V, 6 kW, 1.800 rpm

Condensador principal
Tipo Superficie
Superficie ref. 2.160 m ²
Caudal agua ref. 10.800 m ³ /h
Longitud tubos 5 m
Tubos Diámetro 19mm ; Espesor 0,7mm
N° Tubos 5.890

Bomba extracción tanque drenajes atmosférico
N° Elementos 2
Capacidad 26 m ³ /h a 80 m
Características 440 V, 8 kW, 1.800 rpm

Condensador atmosférico
Tipo Superficie, 1 paso, de tubos
Superficie ref 220 m ²
Caudal agua ref 2.050 m ³ /h
Presión diseño 5 kg/cm ²
Temp. diseño 165°C

Condensador vapor sellado/Unidad eyectora aire
Tipo 2 elementos, eyector 2 etapas con cámara anterior y posterior
Superficie ref 12,5 m ² cámara anterior 6,1 m ² cámara posterior
Caudal agua ref 51,6 m ³ /h
Tubos Diámetro 19mm ; Espesor 1,2mm

Calentador alimentación baja presión
Tipo Tubos en U
Superficie ref 134 m ²
Caudal agua ref 74,7 m ³ /h
Tubos Diámetro 19mm ; Espesor 1,0mm

Extractor de grasa
N° Elementos 1 duplex
Para filtración condensado

Desaireador
N° Elementos 1
Capacidad 20 m ³
Caudal vapor 72 m ³ /h

Presión aliment 4,1 kg/cm ²
Presión trabajo 2,7 kg/cm ²
Presión diseño 3,8 kg/cm ²
Temp diseño 138,5°C

4.1.1 SISTEMA DE CONDENSADO PRINCIPAL:

La principal función del sistema de condensado principal es quitar el condensado del condensador y quitar el aire gracias al desaireador, para hacer retornar el condensado a la caldera mediante las bombas de alimentación. El condensado también tiene otras funciones que se detallan a continuación.

Hay tres bombas que recogen el condensado del condensador principal, dos a plena capacidad y otra trabajando a baja carga. Estas bombas son autocebadas, para evitar problemas de cavitación, así como los problemas asociados a esta como ruidos y erosión de la bomba centrífuga.

Estas bombas trabajan con caudales variables lo cual puede provocar problemas de cavitación. Por este motivo se ha decidido instalar bombas centrífugas autocebadas.

Estas bombas mueven el condensado por el sistema de condensado. El condensado paso por los serpentines del evaporador de condensado, por los tubos de refrigeración del condensado del vapor de sellado y por el calentador de alimentación de baja presión. Puede realizarse un bypass en todos en estos equipos si fuera necesario. Este proceso tiene dos propósitos el de condensar o el de refrigerar fuentes de calor dentro de la planta o el calentador de condensado.

Un ramal desde la línea de condensado principal, situada después del condensador de vapor de sellado suministrará condensado a las toberas de los sprays situadas en la cámara de vaciado vapor del condensador principal.

Otras muchas ramas suministran condensado a los siguientes servicios:

- ✓ Sprays de los evaporadores del desrecalentador.
- ✓ Llenado del tanque de alimentación química de la caldera.
- ✓ Unidad de análisis del agua de la caldera para toma de muestras.
- ✓ Spray de agua de la zona de vaciado del desrecalentador externo (2).
- ✓ Refrigeración del sello mecánico de las bombas principales de alimentación (2).

Una ramal desde la línea de condensado principal, situada entre el condensador del vapor de sellado y la primera etapa del calentador del agua de alimentación, retorna a la línea de condensado principal a través de una válvula de control. El nivel de agua en el condensador principal se mantendrá para evitar que las bombas del condensado pierdan succión, siendo difíciles para estas recuperar la succión debido al vacío en el condensador. El sistema IAS controlará el nivel en el condensador actuando en la válvula de recirculación cuando sea necesario. Se puede instalar una válvula de bypass para una situación de emergencia. Si el nivel en el condensador sube por encima de los 300 mm por encima del valor normal entrará en funcionamiento la bomba en espera. La bomba en espera se parará cuando el nivel esté próximo al valor normal.

4.1.2 SISTEMA DE CONDENSADO AUXILIAR

El condensado de los sistemas de vapor auxiliar como puede ser el calentamiento de combustible y tanques, calentamiento agua alimentación y vapor de exhaustación pueden ser alimentados eventualmente por el tanque de drenajes atmosféricos. La primordial tarea del sistema auxiliar de condensado es retornar el condensado al sistema de condensado auxiliar y drenar el desaireador, para retornar a la caldera el condensado mediante las bombas de alimentación. Durante este camino el condensado tiene otras funciones.

El tanque de drenaje atmosférico, con una capacidad de 7 m³, recibe agua drenada del condensador y condensado de varias fuentes del sistema del vapor del buque, incluido el tanque de observación. Esto es una reserva para el sistema de drenaje. El problema que tiene esto es que se pueden producir contaminaciones en el sistema, por lo cual se hace necesaria la instalación de equipos de detección de contaminación.

El tanque de drenajes atmosférico tendrá instaladas tres bombas de igual capacidad de extracción. Una estará en operación y dos en espera. Las bombas en espera entrarán en funcionamiento cuando se produzca un fallo en la bomba principal o se detecte poco caudal en la descarga.

El nivel en el tanque es controlado mediante una válvula que recircula agua desde la línea de descarga de la bomba hasta el tanque para mantener el nivel del tanque. Si el nivel del tanque aumenta la bomba en espera entrará en funcionamiento automáticamente. La bomba parará cuando el nivel retorne al valor normal.

En la parte final de la descarga se instalará una unidad desengrasadora duplex para filtrar el aceite y la grasa. Esta unidad opera dentro y fuera de la línea. La unidad que esta fuera de la línea estará presurizada y lista para entrar en funcionamiento en cualquier momento de operación del sistema.

El sistema auxiliar de condensado es un apoyo al sistema de condensado principal y es dirigido por cada uno de los desaireadores o por el tanque de agua destilada, dependiendo del nivel del desaireador en cada momento.

- **DESAIREADOR**

Las funciones del desaireador son las siguientes:

- ✓ Recoger todo el condensado para retornarlo a la caldera.
- ✓ Quitar el oxígeno y otros gases disueltos en el agua de alimentación.
- ✓ Actuar como calentador de agua de alimentación.

El desaireador será colocado en la parte superior de la cámara de máquinas para proporcionar una presión positiva de succión a las bombas de alimentación, superior a la presión de saturación del agua a la entrada de la bomba. Esto se realiza para evitar el cambio de fase del agua en la entrada de la bomba y se produzca cavitación.

El vapor entra al desaireador a través de una serie de toberas de spray. El vapor es suministrado a una presión de 2,7 kg/cm² desde la línea de exhaustación de la bomba de alimentación. Mediante el spray se consigue una superficie superior de contacto con el vapor. El condensado de vapor y el agua de alimentación se mezclan permitiendo liberar el oxígeno y los gases no condensables. Estos gases se expulsan mediante una válvula de venteo. El desaireador también montará una válvula de seguridad tarada a 3,8 kg/cm² situada en la parte superior de la carcasa.

El nivel en el desaireador está controlado por dos válvulas, las cuales cuentan con bypass para realizar operaciones de mantenimiento. Una de ellas es para retornar agua al tanque de agua destilada en el caso de que haya un alto nivel de agua en el desaireador. La otra válvula se utiliza para el llenado del desaireador mediante el tanque de drenajes atmosférico. El proceso que realizan es una recirculación del agua.

El nivel del desaireador se moverá entre los 500mm y los 1350mm con un margen de ± 120 mm.

El sistema IAS controlará en todo momento el sistema de condensado mediante gráficos en pantalla, controlando la apertura de válvula, funcionamiento de bombas, salinidad, temperatura, presión y niveles en el sistema.

- **SUMINISTRO DE AGUA**

El barco contará con 3 tanque almacén de agua destilada, cada uno de los cuales se puede utilizar como suministrador de agua al sistema de condensado. Uno de los tanques siempre estará de reserva. Estos tanques podrán ser vaciados mediante válvulas de drenaje. Esto solo se podrá realizar si el agua se ha contaminado o si es necesario realizar reparaciones en el tanque.

La línea de alimentación al sistema de condensado cuenta con una rama que suministrará a la bomba de alimentación de arranque en frío.

El agua se pasará por la unidad de deionización antes de suministrarla al sistema de condensado. El desionizador será instalado con una válvula de recirculación, para permitir el constante funcionamiento del desionizador independientemente de que el sistema de condensado este en modo de llenado o recirculación.

- **UNIDAD INTERCAMBIADORA DE IONES**

Se instalará una unidad del fabricante Peter Taboada Tecnología del tipo C/319 con una capacidad de 2 m³/h.

El desionizador consiste en dos unidades de intercambio de iones con líneas de proceso exactamente iguales. Una de las líneas estará en operación mientras que la otra estará regenerándose. El sistema contará con dos bombas de alimentación que podrán suministrar agua a cada una de las líneas a través de filtros de 1µm.

Las líneas de proceso están constituidas por 3 unidades intercambiadoras de iones de resina.

La primera unidad es una unidad catódica que atrae y retiene a los iones metálicos del agua. La segunda unidad es un anión la cual atrae y retiene a los minerales no metálicos. La tercera unidad es una mezcla entre catión y anión. La utilización de este sistema no será necesario a menos que se sospeche una contaminación del agua o que se estén realizando procesos de mantenimiento en otras partes del sistema. La unidad

mixta no se regenera, por lo cual será necesaria la instalación de una válvula de bypass para permitir las operaciones de mantenimiento.

Cada línea de proceso podrá estar en funcionamiento entorno a 24 horas. Cuando pase este tiempo entrara la línea en espera en funcionamiento de forma automática.

El funcionamiento de este equipo se realizará de manera automática siguiendo las indicaciones del fabricante. Todas las válvulas serán de tipo solenoide.

4.2 SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERA

Los equipos principales de este sistema son los siguientes:

Turbo bomba principal de agua de alimentación
Tipo de bomba Centrífuga, 3 etapas horizontal
Tipo turbina Etapa simple, velocidad compuesta por impulsos
Potencia 372 kW
Nº Elementos 2
Condiciones vapor 60 kg/cm ² a 510°C
Presión exhaustación 2,7 kg/cm ²
Capacidad 114 m ³ /h a 84 kg/cm ²
Velocidad operación 5.600 rpm
Sobrevelocidad mecánica 6.400 rpm
Sobrevelocidad eléctrica 6.330 rpm
Alarma de presión 3,7 kg/cm ²
Disparo por presión 4,2 kg/cm ²
Válvula seguridad 3,7 kg/cm ²
Presión aceite en operación 1,0 kg/cm ²
Alarma baja presión aceite 0,6 kg/cm ²
Disparo por baja presión aceite 0,5 kg/cm ²
Alarma por alta temperatura aceite 53°C
Alarma vibración 80 µm/s
Disparo por vibración 140 µm/s
Alarma desplazamiento axial 0,5 mm
Disparo por desplazamiento axial 0,7 mm

Bomba agua alimentación eléctrica
Tipo Centrífuga multi-etapa
Capacidad 114 m ³ /h a 84 kg/cm ²
Potencia 372 kW

Bomba agua alimentación arranque frío
Tipo Alternativa de pistones (3)
Capacidad 6 m ³ /h a 86,5 kg/cm ²
Potencia 20 kW 1.182 rpm 440 V

El sistema principal de alimentación retorna el vapor condensado gastado por todos los consumidores de nuevo a la caldera. Esto implica que se tenga que aumentar la presión lo suficiente como para crear un flujo, lo que equivale a decir que hay que vencer la presión en la caldera. Esto se consigue con la turbo bomba centrífuga de varias etapas. Se instalarán dos bombas, una en uso y otra en espera.

Se instalara también una bomba de alimentación de accionamiento eléctrico. Esta bomba se utilizara cuando se esté en proceso de aumento de producción de vapor. También se instalaran 4 bombas de alimentación para arrancar en frío, que se utilizaran en el momento de poner en marcha la producción de vapor.

Todas las bombas toman agua de alimentación de la descarga del desaireador que estará colocado en la parte superior de la cámara de máquinas. La presión de succión deberá ser lo suficientemente grande como para evitar que se produzca la vaporización en la succión de la bomba.

Los desaireadores deben tener la suficiente reserva para permitir seguir trabajando a las bombas de alimentación en caso de avería.

La línea principal de alimentación es la ruta normal del flujo de alimentación. La línea principal de alimentación pasa por el economizador a través de la válvula reguladora de alimentación y de la válvula motorizada de parada de alimentación. La regulación del caudal de alimentación y del nivel de la caldera será controlada por el sistema de control de caldera, que se describirá posteriormente. Se instalara un economizador para aprovechar el caudal de gases calientes de la combustión para incrementar la temperatura del agua de alimentación. Se

podrá realizar un bypass al economizador para realizar reparaciones u operaciones de mantenimiento pero solo cuando la caldera está quemando con el fuego mínimo. La válvula de parada de alimentación principal de la caldera se colocara entre el economizador y el depósito de vapor de la caldera.

La línea auxiliar de alimentación solo se usara en caso de fallo o avería de la línea principal, fallo de la válvula reguladora de caudal o fallo del sistema. Esta línea es el camino más rápido para llegar a la caldera sin pasar por el economizador, pero la línea estará equipada con válvulas que permitan el paso por el economizador si fuera necesario.

Todo este sistema estará controlado por el sistema IAS y por el sistema de control de combustión automático. El sistema IAS controlará si se opera en modo automático o manual el sistema, así como los caudales y accionamiento de válvulas. Se colocaran válvulas de control tanto en las turbo bombas como el bomba de alimentación de accionamiento eléctrico para permitir la recirculación, haciendo que el agua vuelva al desaireador.

Hay que tener en cuenta en todo momento que todas las bombas cuentan con equipos de lubricación. Estos sistemas se explicaran con posterioridad.

- ***Turbo bomba de alimentación:***

La turbo bomba consiste en dos partes bien diferenciadas, la turbina accionada por vapor y la bomba propiamente dicha.

La turbina es de una sola etapa por impulsos, con un solo eje acoplado directamente al único eje de la bomba mediante un acoplamiento flexible.

El control de la velocidad y el control de presión de descarga son efectuados por un sistema de gobierno Woodward UG-10DM en combinación con una unidad de control de presión integral.

La unión flexible de los dos ejes es lubricada mediante un sistema de lubricación en spray procedente del sistema de lubricación de la turbina.

La bomba cuenta con un sistema de disparo mecánico por sobrevelocidad, equivalente al 115% de la velocidad máxima. También cuenta con un sistema de disparo eléctrico cuando la velocidad es 113% de la velocidad máxima.

El sistema también cuenta con un sistema para detectar el incremento de presión en la exhaustación de la turbina. Para este proceso se instalara una válvula solenoide de parada de turbina tarada a 4,2 kg/cm². También hay instalado un disparo por baja presión en el sistema de lubricación tarado 0,5 kg/cm².

La bomba es de tres etapas de tipo centrífugo, colocada de forma horizontal para facilitar el manejo y el mantenimiento. La primera etapa es de doble succión mientras que la segunda y la tercera son de succión simple. Esta doble succión en la parte inicial permite a la bomba trabajar con un NPSH bajo a altas revoluciones.

La turbina se colocará de forma horizontal al igual que la bomba para permitir el acoplamiento de ambas. La turbina cuenta con dos ruedas de paletas con 4 orificios de balance para reducir el empuje axial.

La bomba de aceite lubricante de este sistema es una bomba de doble engranaje helicoidal.

Durante los periodos de arranque y de parada hay una bomba actuada mediante un motor eléctrico.

Se trata de una bomba centrífuga sumergida con funcionamiento desde los 0,45 kg/cm² hasta que la presión es de 0,9 kg/cm².

4.3 SISTEMA DE DRENAJES LIMPIOS

Los drenajes que se consideran que no han sido contaminados se mandan directamente al circuito de alimentación principal y al sistema de condensado. Estos drenajes se almacenan en el tanque de drenajes atmosférico o en el condensador principal. Los drenajes que se consideran son los siguientes:

- ✓ Drenajes de todas las líneas.
- ✓ Drenajes de vapor atomizado.
- ✓ Calentadores de aire vapor.
- ✓ Drenajes carcasa turbina.
- ✓ Drenajes evaporador.
- ✓ Calentador alimentación baja presión.
- ✓ Sistema de gas inerte.

Muchos de los sistemas de drenaje contarán con sumideros de drenaje. Estos sumideros solo son montados en serpentines de calentamiento, ya que por ellos solo pasa agua. Muchos de estos sumideros cuentan con válvulas de bypass para mantener el servicio durante un fallo del sumidero.

Después de pasar por los sumideros los drenajes pasan por los calentadores de alimentación de baja presión, para mantener el nivel en la unidad. Los drenajes de esta zona se pueden

mandar directamente al condensador principal o al tanque de drenajes atmosférico. Para la selección del lugar de descarga se utilizan dos válvulas neumáticas. Estas válvulas serán controladas por el sistema IAS, que normalmente mandara el flujo de drenajes al tanque de drenajes atmosférico. Para ayuda al sistema se montara una válvula de cierre cerca del condensador principal y una válvula de no retorno cerca del tanque atmosférico de drenajes para evitar que el agua del tanque retorne al condensador principal.

Cada evaporador cuenta con dos drenajes de vapor, uno al calentador de agua de alimentación y otro al condensador del eyector.

La combinación de los eyectores de aire y el condensador de vapor de sellado tiene drenajes a varios lugares. En una primera etapa el eyector de aire drenara al condensador principal y finalmente drenara al tanque de drenajes atmosféricos. Todos estos drenajes cuentan con válvulas aisladas. El diseño de las tuberías se hará de forma que se evite el retorno de los drenajes al condensador principal.

Los drenajes de la turbina de alta presión irán al condensador principal y serán controlados mediante válvulas neumáticas dirigidas por el sistema de control de la turbina.

Los sopladores de hollín drenarán directamente a la sentina. Esto se hará por razones de operación del sistema, intermitente, y por la posible contaminación del sistema de alimentación con cenizas o suciedades.

4.4 SISTEMA DE DRENAJES SUCIOS

Los equipos principales instalados en este sistema son los siguientes:

Refrigeración drenajes
Nº Elementos 1
Tipo Tubular

Desengrasador
Nº Elementos 1
Capacidad 2,6 m ³ /h
Presión diseño 4,55 kg/cm ²

Medidor contenido aceiteCapacidad 2,6 m³/h

El sistema de alimentación principal se puede ver contaminado por restos de los sistemas de fuel oil o por los sistemas de calentamiento de los tanques y combustibles mediante el tanque de drenajes atmosférico antes de que estos sean descontaminados en el sistema de drenajes contaminados. Estos drenajes que pueden ser contaminantes se pasa primero al depósito de drenajes contaminados antes de ser trasladados a la sección de descontaminación del sistema. Los drenajes recogidos son primeramente refrigerados para luego pasar al colador duplex. Finalmente se pasan por el desengrasador y son almacenados en el tanque de inspección, donde será analizada el agua para comprobar su viabilidad de uso. En ningún momento se podrá realizar un bypass al sistema, para evitar peligros de contaminación del sistema.

El desengrasador está formado por tres cámaras que forman un cilindro, las cuales contienen elementos separadores. Los restos de aceite se depositan en la parte superior de las cámaras para su posterior drenaje al tanque de drenajes de fuel oil. El tanque de observación cuenta con dos cámaras. La primera cámara cuenta con equipo de medida de niveles de aceite, el cual actúa sobre una válvula de tres vías que se abre si la concentración de aceite en agua es superior a 15 ppm, mandando el agua directamente a la sentina.

5.- SISTEMA DE AGUA DE MAR

5.1 SISTEMA DE CIRCULACIÓN DE AGUA SALADA PRINCIPAL Y AUXILIAR

Las bombas utilizadas en estos sistemas son las siguientes:

Bomba circulación agua mar principal
N° Bombas 3
Tipo Centrifuga
Capacidad 6.000 m ³ /h a 5 m
Potencia 117 kW

Bomba auxiliar agua mar
N° Bombas 1
Tipo Centrifuga
Capacidad 400 m ³ /h a 2,5 kg/cm ²
Potencia 38,9 kW

El sistema de circulación de agua de mar suministra agua de refrigeración al condensador principal, condensador auxiliar y a los equipos de refrigeración del aceite lubricante. El sistema cuenta con tres bombas de circulación de agua de mar principales, más una bomba auxiliar de circulación de agua de mar. Las tres bombas principales no arrancan simultáneamente. La bomba N°2 no puede entrar en funcionamiento si no ha entrado en funcionamiento la N°1. Todo el proceso está gobernado por las rpm de la planta propulsora.

La bomba de circulación de agua de mar solo puede ser arrancada manualmente y de su parada se encargara el sistema IAS. Las válvulas de succión de la bomba, de descarga y del condensador principal serán controladas también por el sistema IAS tanto en su apertura como en su cierre.

Dos de las bombas de circulación principal (N°1 y 2) operan cuando la planta propulsora está operando por encima de 50 rpm suministrando agua de mar al condensador principal y a la refrigeración del aceite lubricante, también pudiendo suministrara caudal al condensador auxiliar cuando el buque está en navegación. Cuando la planta propulsora trabaje a 45 rpm o menos la bomba N°2 podrá ponerse en estado de espera. Si el barco se encuentra en puerto solo le será necesario la utilización de una bomba.

Las bombas 1 y 2 toman agua de las tomas de mar inferiores, mientras que la bomba 3 toma agua de la toma de mar superior a través de un filtro. Hay que recordar que todas las tomas de mar cuentan con tomas de vapor para limpieza.

El sistema de circulación auxiliar de agua de mar suministrará agua de mar al condensador auxiliar y solo funcionara cuando el sistema de circulación de agua de mar este parado.

Dependiendo de la profundidad de las aguas se trabajara con la bomba N°1 o N°3 para evitar que en aguas poco profundas las bombas tomen lodos del fondo y arena.

Todo el sistema estará controlado con válvulas de accionamiento hidráulico accionadas por el sistema IAS.

5.2 SISTEMA ANTI-INCRUSTACIÓN

Para evitar la aparición de moluscos en las conducciones se instalará un equipo para prevenir esta circunstancia. El equipo a instalar es el siguiente:

Sistema anti-incrustación
Nº Equipos 5 (una para cada toma de mar)
Caudal toma mar superior babor 1.350 m ³ /h agua mar
Caudal toma mar superior estribor 6.500 m ³ /h agua mar
Caudal toma mar inferior estribor 15.000 m ³ /h agua mar
Caudal toma mar inferior babor 205 m ³ /h continuo para sistema contra incendio
1.350 m ³ /h para generador agua dulce
Caudal toma de mar de proa 1.350 m ³ /h agua mar
Tipo Ánodo de cobre WVR27
Ánodo de cobre SUV27
Ánodo de fundición hierro SUV29

Este sistema también protege contra la corrosión de las canalizaciones y del sistema con ayuda de los ánodos. La incrustación de moluscos se consigue con los ánodos de cobre y la corrosión con los ánodos de fundición de hierro. La vida aproximada de los ánodos es de 4 años. Se deberá hacer correr una corriente por las tomas de succión cuando el sistema de circulación no está operando. La intensidad de esta corriente estará entre 0,2 A y 0,4 A.

5.3 SISTEMA CENTRALIZADO DE REFRIGERACIÓN DE AGUA MARINA

A continuación se muestran las bombas necesarias para operar el sistema centralizado de refrigeración con agua de mar:

B.circulación agua mar maquinaria CM
Nº Bombas 2
Tipo Centrifuga
Capacidad 450 m ³ /h a 2 kg/cm ²
Potencia 35 kW

B.circ. agua mar maquinaria carga
Nº Bombas 2
Tipo Centrifuga
Capacidad 70 m ³ /h a 2 kg/cm ²
Potencia 5,5 kW

B.circ. agua mar ref. gas inerte
Nº Bombas 1
Tipo Centrifuga
Capacidad 1.108 m ³ /h a 3,9 kg/cm ²
Potencia 168 kW

El sistema de refrigeración centralizado está compuesto por dos partes independientes pero interconectadas, una para refrigerar la maquinaria de la cámara de máquinas y otra para refrigerar la maquinaria de manejo de la carga. Los dos sistemas contarán con dos bomba cada uno, una funcionando y otra en espera, y un sistema de refrigeración mediante agua dulce. Los sistemas cuentan con válvulas de descarga al exterior de accionamiento manual. La mayoría de las válvulas del sistema son de tipo mariposa.

Los dos sistemas trabajan independientemente, pero están interconectados para poder permitir el suministro de agua de un sistema al otro en caso de avería. La conexión tiene lugar mediante una válvula de mariposa de accionamiento manual.

El sistema de refrigeración de maquinaria de sala de máquinas o de refrigeración de maquinaria toma agua del sistema principal de agua de mar o del auxiliar, pero por lo general lo tomara del sistema principal de circulación.

La bomba de refrigeración de gas inerte es completamente independiente de los sistemas anteriores, tomando agua de la circulación principal de agua de mar.

A continuación se hace el estudio del sistema de refrigeración centralizado:

Viaje

Nº	SERVICIO	Nº	CAUDAL (M3/H)	Tª ENTRADA (°C)	Tª SALIDA (°C)	DISIP. CALOR (MCAL/H)
2	Turbo-generador	1	26,9	36	39,4	91,46
2	Turbo-bomba	1	7,5	36	36,91	6,825
1	Ref. drenajes	1	5	36	70,36	171,8
2	A. Acondicionado principal	1	75	36	40,29	321,75
2	A. acondicionado auxiliar	1	25,4	36	41,6	142,24
2	Planta refrigeración	1	4,5	36	38,5	11,25
2	Compresor aire control	1	1,51	36	56,86	31,4986
2	Compresor aire servicio	1	1,19	36	51,55	18,5045
2	Compresor nitrógeno	1	1,62	36	48,46	20,1852
3	Ref. muestras	3	2,47	36	40,7	11,609
1	Ref. aceite bocina	1	2	36	36,88	1,76
2	Planta refrigeración (seca)	1	4,1	36	38,5	10,25
	Total		157,19	36	41,33	839,1323

Descarga:

N°	SERVICIO	N° S	CAUDAL (M3/H)	T ^a ENTRADA (°C)	T ^a SALIDA (°C)	DISIP. CALOR (MCAL/H)
2	Turbo-generador	2	53,8	36	40,37	470,212
2	Turbo-bomba	1	7,5	36	36,91	6,825
1	Ref. drenajes	1	5	36	70,36	171,8
2	A. acondicionado principal	1	75	36	40,29	321,75
2	A. acondicionado auxiliar	1	25,4	36	41,6	142,24
2	Planta refrigeración	1	4,5	36	38,5	11,25
2	Compresor aire control	1	1,51	36	56,86	31,4986
2	Compresor aire servicio	1	1,19	36	51,55	18,5045
2	Compresor nitrógeno	1	1,62	36	58,43	36,3366
3	Ref. muestras	3	2,47	36	44,46	62,6886
1	Ref. aceite bocina	1	2	36	36,25	0,5
1	Equipo potencia en cubierta	1	25,64	36	39,99	102,3036
2	Planta refrigeración (seca)	1	4,1	36	38,5	10,25
	Total		209,73	36	41,25	1386,1589

Máximo:

N°	SERVICIO	N° SERV.	CAUDAL (M3/H)	T ^a ENTRADA (°C)	T ^a SALIDA (°C)	DISIP. CALOR (MCAL/H)
1	Generador Diesel	1	83,1	36	51,4 1	1.280,5 7
2	Turbo-generador	1	26,9	36	40,3 7	117,55
2	Turbo-bomba	1	7,5	36	36,9 1	6,82
1	Ref. drenajes	1	5	36	70,3 6	171,80

2	A. acondicionado principal	2	150	36	38,3 8	357,00
2	A. acondicionado auxiliar	1	25,4	36	42,3	160,02
2	Planta refrigeración	1	4,5	36	40,5	20,25
2	Compresor aire control	1	1,51	36	62,8 2	40,50
2	Compresor aire servicio	1	1,19	36	63,9 8	33,30
2	Compresor nitrógeno	1	1,62	36	58,4 3	36,34
3	Ref. muestras	3	2,47	36	44,4 6	20,90
1	Ref. aceite bocina	1	2	36	37,1 3	2,26
2	Planta refrigeración (seca)	1	4,1	36	40,5	18,45
	Total		315,3	36	43,1 8	2.265,8

Bombas:

N°	SERVICIO	N° SERV.	CAUDAL (M3/H)
1	Generador Diesel	1	83,1
2	Turbo-generador	2	26,9
2	Turbo-bomba	2	7,5
1	Ref. drenajes	1	5
2	A. acondicionado principal	2	150
2	A. acondicionado auxiliar	1	25,4
2	Planta refrigeración	2	4,5
2	Compresor aire control	2	1,51
2	Compresor aire servicio	2	1,19

2	Compresor nitrógeno	2	1,62
3	Ref. muestras	3	2,47
1	Ref. aceite bocina	1	2
1	Equipo Potencia Cubierta	1	25,64
2	Planta refrigeración (seca)	1	4,1
	Total		445,73

De aquí se deduce la capacidad la capacidad de las bombas:

- ✓ 2 Refrigeradores de agua dulce de baja temperatura al 100% de la capacidad total.

$$1 \cdot 839,13 \text{ Mcal/h} = 839,13 \text{ Mcal/h} = 975,73 \text{ kW}$$

$$1 \cdot 2.265,8 \text{ Mcal/h} = 2.265,8 \text{ Mcal/h} = 2.634,6 \text{ kW}$$

- ✓ 2 Bombas de agua dulce de baja temperatura del 100% de capacidad total:

$$1 \cdot 445,43 \text{ m}^3/\text{h} = 445,43 \text{ m}^3/\text{h}$$

La temperatura de entrada del agua dulce al refrigerador de agua dulce será:

$$\frac{839,13 \text{ Mcal/h}}{157,19 \text{ m}^3/\text{h}} + 36^\circ \text{C} = 41,33^\circ \text{C}$$

$$\frac{2.265,8 \text{ Mcal/h}}{315,3 \text{ m}^3/\text{h}} + 36^\circ \text{C} = 43,18^\circ \text{C}$$

La temperatura de salida del agua dulce del refrigerador de agua dulce será de 36°C.

- ✓ 2 Refrigeradores de agua dulce de 2.700 kW cada uno.
- ✓ 2 Bombas para agua salada del sistema centralizado de refrigeración al 100% de la capacidad total.

$$1,00 \frac{2.265,8 \text{ Mcal/h}}{37,45^\circ \text{C} - 32,00^\circ \text{C}} = 415,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

La temperatura de entrada del agua de mar al servicio es de 32°C.

Por lo cual la selección de las bombas ha sido la siguiente:

- ✓ 2 Bombas para refrigeración con agua dulce de 450 m³/h (410 m³/h calculados).
- ✓ 2 Bombas de agua salada para sistema centralizado de refrigeración de 450 m³/h (410 m³/h calculados).

5.4 SISTEMA DE GENERACIÓN DE AGUA DULCE

La bomba que se instalara para la obtención de agua dulce es el siguiente:

Bomba Generador agua dulce
N° Bombas 2
Tipo Centrifuga
Capacidad 65 m3/h a 4,2 kg/cm2

Se instalarán dos plantas de producción de agua dulce por destilación con una capacidad cada uno de 25 tn/dia. Se producirá el agua dulce por evaporación del agua de mar y condensación de este vapor posteriormente. La unidad trabaja en vacío (del 90% al 95% de vacío) para obtener la vaporación del agua de mar a baja temperatura. El agua de mar empleada es cogida de la succión principal de agua de mar. El agua suministrada se utiliza para evaporarla, para refrigerar ese vapor para condensado y para sacar el agua con mayor concentración de sal del evaporador. Ambos evaporadores están conectados mediante válvulas de mariposa, las cuales permiten que la bomba N°1 alimente al evaporador N°2 y viceversa. La instalación contara con válvulas de mariposa de accionamiento manual, válvulas de no retorno para evitar el reflujo y válvulas de seguridad para evitar problemas de sobrepresión. La descarga del agua salada se realiza a través de una válvula de mariposa controlada por el sistema IAS.

Para evitar la formación de espumas en el evaporador el agua de alimentación es tratada químicamente, esto se realizará mediante una unidad dosificadora química.

6.- SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AGUA DULCE

6.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AGUA DULCE

Las bombas empleadas en este equipo se han calculado en el apartado anterior por lo cual la bomba seleccionada es la siguiente:

Bomba refrigeración centralizada agua dulce	
Nº Bombas	1
Tipo	Centrifuga
Capacidad	450 m ³ /h a 3 kg/cm ²
Potencia	75 kW

El servicio de agua dulce centralizado de refrigeración cuenta con 2 bombas que suministran agua dulce de refrigeración a los siguientes equipos:

- ✓ Alternador y motor diesel del generador diesel.
- ✓ Unidades de aire acondicionado de espacios de maquinaria.
- ✓ Alternador de los turbogeneradores y refrigeradores de aceite lubricante.
- ✓ Condensador y refrigerador de muestras de agua dulce de alimentación.

- ✓ Refrigeración de aceite hidráulico de maquinaria de cubierta de proa.
- ✓ Refrigerador del aceite de lubricación de bombas de agua de alimentación.
- ✓ Refrigerador de aceite bocina.
- ✓ Refrigerador drenajes.
- ✓ Compresor de suministro de aire al generador de nitrógeno.
- ✓ Unidades aire acondicionado zona acomodación.
- ✓ Compresores de aire de servicio y de control.
- ✓ Condensador refrigeración maquinaria.
- ✓ Refrigeradores de las purificadoras de diesel oil y aceite lubricante.

El sistema cuenta con dos bombas, una funcionando y otra en espera. La bomba en espera entra en funcionamiento cuando se para la que esta en funcionamiento para mantener la presión de suministro de agua correcto. Las bombas son controladas por el sistema IAS.

El agua que circula es tratada químicamente para minimizar los efectos de la corrosión. Se utiliza agua destilada para evitar la formación de depósitos. El tratamiento químico se añade directamente al tanque almacén. El sistema cuenta con dos tanques de expansión que mantienen la presión estática, que permiten la expansión del agua en el sistema. Un tanque esta asociado al sistema centralizado de refrigeración y esta conectado a las bombas de circulación. El otro tanque esta asociado al sistema de refrigeración de alta temperatura, el cual refrigera las camisas del motor diesel del generador. El sistema cuenta con válvula manuales para rellenar el sistema. Los tanques cuentan con sensores de nivel y temperatura así como de alarma por bajo nivel.

El generador diesel cuenta con sistemas de refrigeración de alta y baja temperatura. El de alta temperatura es independiente del sistema de refrigeración centralizado y refrigera camisas y culatas. La refrigeración de baja temperatura refrigera el sistema de aceite lubricante, el refrigerador de aire de carga y el refrigerador del aire del alternador. Este sistema también refrigera el agua que circula por el sistema de refrigeración de alta temperatura. El agua utilizada en el sistema de baja temperatura es agua del sistema centralizado de refrigeración

(agua dulce). El diesel generador cuenta con bombas eléctricas que circulan agua para mantener el motor en las condiciones de temperaturas idóneas de funcionamiento para el caso en que tenga que entrar en funcionamiento. Cuando el motor entra en funcionamiento el precalentador y las bombas de precalentado se paran.

El agua dulce del sistema centralizado retorna a la succión de la bomba un vez que ha pasado por el equipo, ya sea directamente o pasando por el refrigerador de agua dulce. Una válvula de tres vías colocada en la succión de la bomba principal del sistema centralizado de agua dulce controla si el agua pasa directamente a la bomba lo manda al refrigerador de agua dulce. El sistema IAS controla esta válvula con el fin de mantener una temperatura en el sistema de 36°C.

6.2 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AGUA DULCE DE MAQUINARIA DE CARGA

El sistema de refrigeración de la maquinaria de carga está separado del sistema centralizado de refrigeración de la cámara de máquinas.

El sistema de circulación de agua dulce para la maquinaria de carga está formado por dos bombas de circulación, una funcionando y otra en espera. El sistema también cuenta con dos refrigeradores de agua dulce. El sistema es utilizado para mantener la temperatura deseada en toda la maquinaria de carga. Los equipos que deberán ser refrigerados serán:

- ✓ 2 Compresores de alta capacidad.
- ✓ 2 Compresores de baja capacidad.
- ✓ 1 Refrigerador de drenajes.
- ✓ 2 Refrigeradores de bombas de vacío.

El equipo cuenta con una válvula de tres vías para controlar si queremos que el agua pase por los intercambiadores de calor o no. Esto se realiza para mantener la temperatura idónea del fluido de refrigeración en función de las condiciones de utilización. El sistema tenderá a mantener una temperatura próxima a 36°C con ayuda del sistema IAS que controla la válvula de tres vías.

El sistema estará equipado con un tanque de expansión el cual permita la expansión térmica del agua del sistema. El agua de este sistema también será tratada químicamente para minimizar la probabilidad de corrosión.

Las bombas utilizadas en este sistema serán las siguientes:

Bomba refrigeración agua dulce maquinaria carga
N° Bombas 2
Tipo Centrifuga
Capacidad 60 m ³ /h a 3,5 kg/cm ²
Potencia 8,2 kW

7.- SISTEMA DE TRATAMIENTO Y TOMA DE MUESTRAS DEL AGUA DE CALDERA

Este sistema será instalado para prevenir la formación de depósitos y corrosión de las calderas y sistema de alimentación. Otro objetivo que se cumplirá es la de mantener la calidad del vapor obtenido. La contaminación del agua de alimentación puede causar graves daños a las calderas, por lo cual será necesario un control continuo de la calidad del agua de alimentación a las calderas. La toma de muestras y tratamiento se realizara según las especificaciones del fabricante de los equipos de tratamiento.

El sistema IAS controla todo el proceso mediante toma de muestras de salinidad, pH y conductividad en los diferentes equipos y tuberías que conforman el sistema de alimentación a la caldera.

Es sistema contará con dos unidades de inyección de productos químicos para suministrar los productos químicos necesarios al agua de la caldera. El equipo suministrará hidracina en la succión de la bomba de alimentación de agua dulce a calderas. La hidracina se usa para eliminar oxígeno del sistema. El sistema consiste en un depósito llenado con agua destilada procedente del condensador e hidracina disuelta. El agua tratada con hidracina se inyecta al sistema mediante una válvula de medida.

Las unidades de inyección química de la caldera están formadas por dos tanques de 150 litros de capacidad donde se mezclan los productos químicos con el agua destilada procedente del

condensador. Los dos tanques suministran a las dos calderas mediante bombas de inyección de alta presión dentro del depósito de vapor de la caldera a través de válvulas de inyección química. La dosificación se hará a razón de 15 litros por hora. La línea de alimentación es común a los dos tanques, por lo cual es sistema solo podrá alimentar a una caldera cada vez. Todo el sistema esta controlado con el IAS.

Las características que debe tener el agua de alimentación deben ser las siguientes:

Agua caldera
pH 9,6 - 10,3
Conductividad menos de 400 μ S/mm
Sólidos disueltos menos de 200 ppm
Cloros menos de 20 ppm
Fosfatos 10 - 20 ppm
Sílice menos de 3 ppm

Agua alimentación
pH 8 - 9 (8,7 optimo)
Dureza 0 ppm
Oxigeno 0,02 cm ³ /l
Reserva hidracina 0,01 cm ³ /l o superior

Los equipos instalados en este sistema son:

Unidad inyección hidracina
Nº Unidades 1
Tamaño tanque 300 l
Presión descarga 8 kg/cm ²

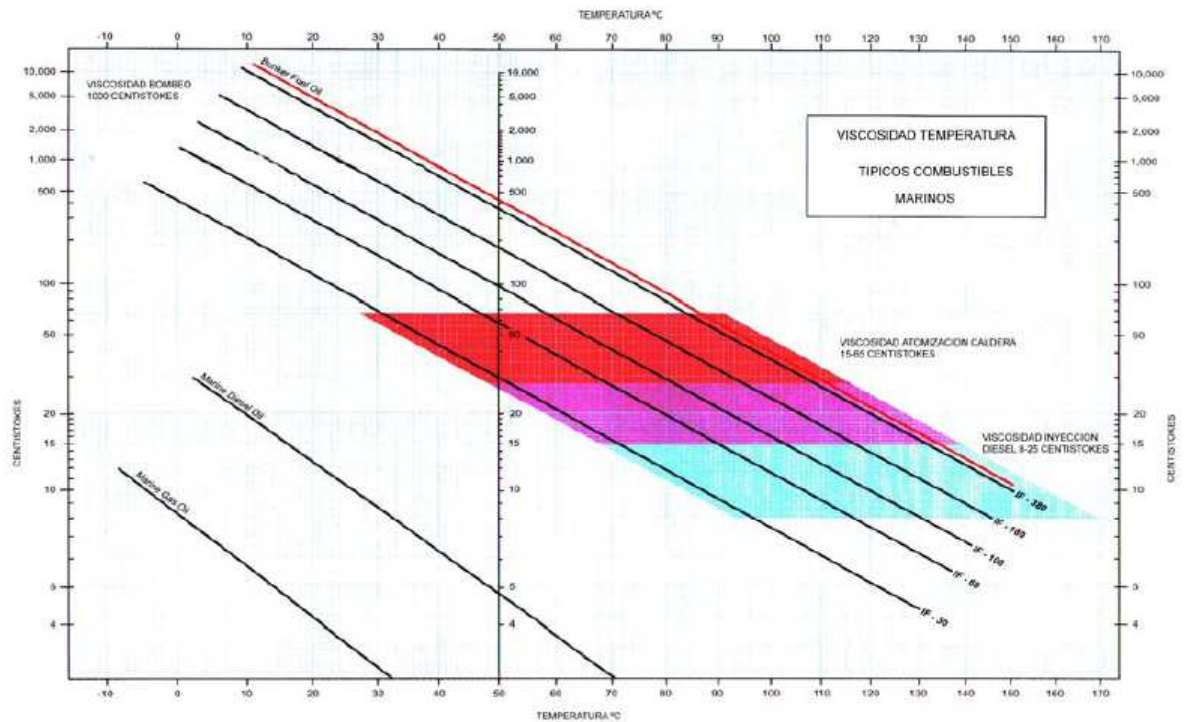
Capacidad 0 - 3,5 l/h
Potencia 0,4 kW, 440 V, trifásico

Unidad inyección química caldera
N° Unidades 1
Tamaño tanque 2x150 l
Presión descarga 80 kg/cm2
Capacidad 0 - 15 l/h
Potencia 0,4 kW, 440 V, trifásico

Unidad análisis agua caldera / alimentación
N° Unidades 1
Modelo BSC3-3M-3E-3P-3C
N° ptos muestra 3
Equipos prueba pH, conductividad, temperatura y caudal
Alimentación 220 V

8.- SISTEMA SUMINISTROS FUEL OIL Y GAS

Los combustibles seleccionados para la operación del buque, así como las condiciones de operación de los mismos se muestran en el diagrama siguiente:



8.1 SISTEMA DE TRASIEGO Y ALMACENAJE DE FUEL OIL

El sistema de trasiego y almacenaje contará con las siguientes bombas:

Bomba trasiego Fuel Oil pesado
Nº Bombas 1
Tipo Engranajes
Capacidad 90 m ³ /h a 6 kg/cm ²

Bomba trasiego Diesel Oil
Nº Bombas 1
Tipo Engranajes
Capacidad 20 m ³ /h a 6 kg/cm ²

Bomba trasiego Fuel Oil popa
N° Bombas 2
Tipo Engranajes
Capacidad 90 m ³ /h a 6 kg/cm ²

Bomba trasiego Gas Oil
N° Bombas 1
Tipo Engranajes
Capacidad 2,5 m ³ /h a 6 kg/cm ²

El combustible pesado para las calderas se almacenará en dos tanques almacén de HFO situados en la cámara de máquinas, en un tanque profundo de HFO situado a proa de los tanques de carga y en un tanque IMO de HFO situado en la cámara de máquinas. Estos tanques podrán ser llenados por cualquiera de las cuatros tomas de los manifold de los tanques. Cada tanque contara con alarmas de nivel, las cuales cerrarán las válvula de llenado de tanque correspondiente. En el manifold también se encuentran las tomas para el llenado de los tanque almacén de diesel oil y gas oil.

El combustible pesado HFO será trasegado al tanque de servicio diario de cualquiera de los tanque almacén de HFO. Una vez en el tanque de servicio diario ya podrá ser utilizado por la caldera. Para este cometido se utilizarán las bombas de trasiego de HFO, que podrán ser activadas remotamente o directamente. El sistema IAS controlara el proceso de trasiego de los tanque almacén a los tanque de servicio diario controlando las bombas y las válvulas de carga y descarga. Estas válvulas serán de accionamiento hidráulico.

Los tanque de MDO (Marine Diesel Oil) y MGO (Marine Gas Oil) están situados en la cámara de máquinas y son abastecidos por la lineal de almacenaje de Diesel oil.

Las unidades de almacenaje de HFO y DO están situadas en proa, popa, babor y estribor del buque. En cada unidad habrá instaladas válvulas de toma de muestras, tanto en las de HFO como en las de DO. También se colocaran filtros de canasta colocados entre el manifold y el tanque almacén.

El tanque bajo de HFO está colocado a proa de los tanques de carga y encima de los tanque de agua de lastre en la línea central del barco. Las bombas de trasiego se utilizaran para llevar HFO de este tanque a los otros tanque almacén o al de servicio diario.

Todas las válvulas del sistema de DO, tanto almacenaje como trasiego, son de accionamiento manual, excepto las válvulas de llenado de los tanque almacén de MGO y MDO que son de accionamiento hidráulico.

Existen tanque de reboses para recoger los reboses de los tanque almacén.

Todos los tanques estarán equipados con válvulas neumáticas de cierre de descarga. Estas válvulas se rearmaran manualmente en caso de haberse producido su disparo. Los tanques contarán con equipos de detección y drenaje de agua. Los tanques de HFO contarán con calentadores controlados por termostato. Los tanque de reboses de HFO estarán situados encima de los tanque almacén y estarán conectados entre sí. Todas las tuberías de HFO estarán aisladas para evitar pérdidas de calor y calefactadas para evitar su enfriamiento con el consiguiente aumento de viscosidad del combustible, lo cual no es deseable por cuestiones de trasiego.

La capacidad de los tanques de HFO serán las siguientes:

TANQUE	CAPACIDAD (m³)
Tanque IMO HFO	60
Tanques almacén HFO 1	150
Tanques almacén HFO 2	150
Tanque servicio diario HFO 1	90
Tanque servicio diario HFO 2	90
Tanque proa HFO	2473,14
Tanque reboses	70

El MDO y MGO será almacenado directamente en dos tanques almacén situados en la cámara de máquinas. El MDO será utilizado por el generador de emergencia, el generador diesel principal y para el arranque de la caldera en frío. El MGO será utilizado por el generador de gas inerte y por el arrancar el incinerador.

La capacidad de los tanques es la siguiente:

TANQUE	CAPACIDAD (m³)
Tanque almacén MDO	100
Tanque almacén MGO	100
Tanque servicio diario MDO	50
Tanque servicio diario MGO	50

8.2 SISTEMA DE SERVICIO DE DIESEL OIL AL GENERADOR DIESEL Y SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE DIESEL OIL:

El purificador de diesel oil será utilizado para limpiar el diesel oil del tanque almacén cuando es trasegado al tanque de servicio diario. Utiliza las mismas líneas que el sistema de trasegado de MDO. El sistema es controlado por el IAS teniendo medidores de temperatura y de presión. Los equipos a instalar serán los siguientes:

Separador purificador aceite
N° Unidades 1
Capacidad 1000 l/h
Temperatura de trabajo 60°C

Bomba alimentación purificador
N° Unidades 1
Capacidad 1000 l/h

El sistema de servicio de diesel oil al generador del motor diesel suministra MDO al generador diesel principal desde el tanque de servicio diario de MDO y el exceso de combustible retorna al tanque de servicio de MDO. El generador cuenta con su propia bomba eléctrica para mantener el flujo de DO. El sistema suministra exceso de combustible para mantener en todo momento el sistema presurizado y no se produzcan problemas de trabajar en vacío en las bombas inyectoras del motor. Se montarán dos filtros en línea en la tubería de abastecimiento de DO. Irán equipados con válvulas para permitir el cambio o limpieza de los filtros sucios. El sistema contará con un caudalímetro para ver cual es el consumo del motor.

8.3 SISTEMA DE SERVICIO DE GAS Y FUEL OIL A LA CALDERA

Las calderas podrán operar tanto con HFO como con gas debidamente tratado procedente del Boil-off de la carga. La cantidad de gas consumida depende del porcentaje de boil-off y el HFO siempre se podrá utilizar como sustituto del gas. En ocasiones solo se operará con HFO y en otras combinado. Posteriormente se explicará el sistema de los quemadores de la caldera.

La caldera está equipada con 3 quemadores. En general se operará con un quemador quemando gas y los otros dos quemando HFO.

Los equipos instalados en este sistema son los siguientes:

Bomba suministro HFO caldera
Tipo Husillo horizontal
Capacidad 10,6 m ³ /h a 28kg/cm ²

Bomba diesel oil arranque frío caldera
Tipo Husillo horizontal
Capacidad 2,0 m ³ /h a 10 kg/cm ²

Ventilador extracción
Capacidad 2.586 m ³ /min
Potencia motor 2,2 kW

El HFO es tomado del tanque de servicio diario de HFO mediante dos bombas de suministro de HFO a la caldera. El sistema está controlado por el sistema IAS. Una de las bombas esta en operación mientras que la otra está en espera. Las bombas trabajan a presión constante por lo cual habrá un sistema de recirculación. El HFO se succiona de una cámara de desgasificación. El sistema también cuenta con un filtro duplex y un caudalímetro. Si la presión diferencial es muy grande en el caudalímetro se abre la válvula de bypass del caudalímetro. El exceso de HFO retorna a la cámara de desgasificación y por consiguiente a la succión de la bomba. Las bombas pasan el HFO por uno de los orificios de los calentadores de vapor del HFO y a través de los filtros duplex de la descarga.

Un viscosímetro instalado después del filtro duplex regula el suministro de vapor a los calentadores de combustible para mantener la temperatura del combustible a 112°C.

Las dos calderas cuentan con manitoles independientes, al igual que válvulas reguladores de presión y caudalímetros. Hay una válvula principal de control de presión y una válvula de mantenimiento de presión mínima en cada caldera. Las válvulas reguladoras de presión principal estarán controladas por el AIS. Los quemadores de las calderas cuentan con válvulas de tres vías para recircular el HFO que no se ha quemado por estar la caldera solo quemando gas.

Para el *sistema de suministro de gas a la caldera* se toma gas proveniente de los tanques de carga y se comprime antes de suministrárselo a la caldera mediante dos compresores de baja capacidad. Si la presión del gas en la cámara de circulación es suficiente se puede hacer un bypass al compresor.

Antes de quemar el gas el sistema de ventilación de la cámara de gas situada en la cámara de máquinas debe estar en funcionamiento.

Hay un sistema de control de los compresores de baja capacidad y el boil-off del gas. Para controlar el compresor existen dos controladores, uno que controla la velocidad del compresor y el caudal del gas, y otro para controlar la presión en el tanque, que se debe mover entre 3 y 5 kPa.

8.4 SISTEMA DE INCINERACIÓN DE FUEL OIL

Las bombas que se instalarán en este sistema son las siguientes:

Bomba de lodos
Tipo Husillo
Nº Unidades 1
Capacidad 13 m ³ /h a 4 kg/cm ²

Bomba circulación aceite sucio
Nº Unidades 1
Capacidad 4 m ³ /h a 2 kg/cm ²

El incinerador quema gas oil para incrementar la temperatura en cámara de combustión del incinerador para poder quemar las basuras sólidas y aceites sucios. El gas oil es trasegado mediante bombas desde el tanque almacén de gas oil. Los reboses retornan al tanque almacén.

El tanque de lodos del incinerador es llenado mediante bombas de lodos que tienen la succión en los siguientes tanques:

- ✓ Tanque de sentinas.
- ✓ Tanque de aguas aceitosas.
- ✓ Tanque de drenajes de fuel oil.
- ✓ Tanque aceite sucio.
- ✓ Tanque drenaje aceite lubricante.
- ✓ Tanque de lodos.

El control del sistema lo tiene el sistema IAS. La bomba de circulación lo que hace es coger aceite sucio del tanque de lodos del incinerador y volverlo a meter en el tanque. Con esta operación lo que conseguimos es que no se estratifique al aceite en el tanque. El agua o los sólidos se dispersa, teniendo el aceite sucio un quemado efectivo.

9.- SISTEMAS DE ACEITES LUBRICANTES

9.1 SISTEMA DE ACEITE LUBRICANTE DE TURBINA PRINCIPAL

Las bombas principales instaladas en el sistema son las siguientes:

Bomba de aceite lubricante auxiliar (eléctrica)
Nº Bombas 2
Capacidad 130 m3/h a 4 kg/cm2

Bomba de aceite lubricante principal (directa)
Capacidad 110 m3/h a 4 kg/cm2

Cuando la turbina está parada, la turbina y la reductora reciben aceite lubricante (LO) del tanque principal de LO mediante una de las dos bombas auxiliares de aceite lubricante. La otra bomba está en espera para entrar en funcionamiento cuando sea necesario mantener la presión en el circuito de lubricación.

Cuando la turbina esta en funcionamiento el aceite lubricante lo suministra la bomba principal de aceite que está solidaria al eje de la turbina. La presión en el circuito será de 3,8 kg/cm2. Por encima de este valor el sistema IAS corta la bomba de accionamiento eléctrico. Si la presión cae por debajo de 3,5 kg/cm2 el sistema IAS conectará de nuevo la bomba de accionamiento eléctrico de baja capacidad.

La bomba de aceite lubricante lo que hace es circular aceite lubricante por la reductora y la turbina, así como en eje intermedio de la turbina. Antes de pasar por estos elementos el aceite pasa por la unidad de refrigeración de aceite. Una válvula de tres vías controla el paso del aceite a través del refrigerador, para así controlar la temperatura del aceite manteniéndola a 45°C. Se pondrá una válvula de regulación de presión para mantener la presión del aceite. Esto lo hace recirculando el exceso de aceite al tanque de drenajes de la turbina.

También hay un tanque de gravedad de aceite lubricante que recibe el suministro de aceite lubricante cuando alguna bomba del sistema está funcionando. El tanque de gravedad tiene

practicados unos orificios con válvulas de no retorno que suministran el caudal apropiado durante un cierto tiempo para que en caso de fallo del sistema de bombas la turbina tenga el suministro suficiente para parar y no sufrir daños. La descarga principal de este tanque está protegida con una válvula de cierre rápido. El tanque cuenta con alarma de bajo nivel en el tanque.

El sistema cuenta con dos intercambiadores de calor de tubos que usan el agua de mar del sistema principal de refrigeración. El sistema cuenta con filtros de superior capacidad de la que pueden dar las bombas de circulación. Este filtro es automático y cuenta con un bypass magnético que entra en funcionamiento automáticamente en caso de emergencia.

La turbina cuenta con un sistema de control del aceite que depende del sistema principal de aceite lubricante. La reductora cuenta con deshumidificador que funciona haciendo pasar aire caliente por el desecante.

Todo el sistema es controlado por el IAS, que actúa sobre las válvula y bombas, ya sean principales o auxiliares.

9.2 SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE BOCINA

Los equipos instalados en el sistema son los siguientes:

Sello de bocina
Fabricante Blohm and Voss
Modelo SC2MGC/SC2CGZ

Bomba lubricación bocina
N° Bombas 2
Tipo Engranajes horizontal
Capacidad 2 m3/h a 3 kg/cm2

La función de la bocina es la de actuar como sello y como soporte del eje de la hélice. El sistema de aceite lubricante de la bocina es completamente independiente del resto de sistemas de lubricación. La bocina pasa a través de un tanque con agua que sirve como refrigeración de la bocina. Hay tres sistemas de lubricación de la bocina, el eje y los sellos de proa y popa. El eje y los sellos utilizan el mismo grado de aceite lubricante.

La zona de eje es lubricada con aceite desde el tanque de gravedad. Tiene instaladas dos bombas con una en espera. Del tanque de gravedad se pasa al tanque de aceite lubricante de bocina y de este, mediante las bombas, se pasa el aceite por el refrigerador para posteriormente llegar al eje. Este refrigerador recibe el agua del sistema central de refrigeración con agua dulce.

La posición del tanque de gravedad determina y mantiene la correcta presión en el sistema.

El tanque de gravedad está equipado con dos tubos de retornos de reboses al tanque de aceite lubricante de la bocina.

El sello de proa esta constituido por 4 anillos de sellado. Entre cada uno de estos sellos se han realizado unas cámaras. El aceite lubricante se inyecta en estas cámaras. Por el efecto de giro del eje el aceite lubricante va al tanque de drenajes de aceite lubricante.

El sello de popa está constituido por dos anillos de sellados. Entre ellos se forma una cámara que tendrá una capacidad aproximada de 20 litros. Esta cámara estará llena de aceite con un nivel de 830 mm por encima de la línea central de eje. La circulación del aceite se consigue haciendo girar el eje.

9.3 SISTEMA DE TRASIEGO Y PURIFICACIÓN DE ACEITE LUBRICANTE

Los equipos instalados en este sistema son los siguientes:

Separador purificador de aceite
N° Equipos 2
Capacidad 2.500 l/h
Temperatura de separación 70°C

Bomba alimentación purificador aceite
Tipo Engranajes
N° Equipos 2
Capacidad 2500 l/h

El propósito del purificador es la de quitar el agua y las partículas sólidas del aceite lubricante para prevenir averías a los equipos que se le suministra el aceite. La separación de estos residuos se puede hacer de dos formas, una por gravedad y otra por centrifugado. Para este sistema se ha elegido un sistema basado en el método de centrifugado. El centrifugado lo que hace es que los elementos de distintas densidades se separen.

Todo el sistema de purificación, así como el control de las bombas lo lleva acabo el IAS con ayuda de la unidad de control del separador Westfalia. Las dos purificadoras se encargan de purificar todo el aceite del barco.

9.4 SISTEMA DE TRASIEGO Y LLENADO DE ACEITE LUBRICANTE

La bomba instalada en este sistema es la siguiente:

Bomba alimentación purificador aceite
Tipo Husillo
N° Equipos 1
Capacidad 3 m3/h a 3,5 bar

Los siguientes tanques almacén de aceite están instalados en la cámara de máquinas:

TANQUE	CAPACIDAD (m³)
Tanque almacén aceite lubricante	68,7
Tanque renovación aceite lubricante	68,7
Tanque aceite maquinaria cubierta	4,00
Tanque almacén aceite generador diesel	4,00
Tanque servicio diario aceite N°1	0,25
Tanque servicio diario aceite N°2	0,25
Tanque servicio diario aceite N°3	0,25
Tanque colector aceite principal	61,00
Tanque colector aceite bocina	99

El tanque almacén, el de renovación y el almacén del generador diesel están equipados con válvulas de cierre rápido de accionamiento neumático. Todos los tanques están equipados con dispositivos que permiten la toma de muestras del aceite, para ver cual es el estado del aceite.

El tanque colector de aceite de la turbina y del generador diesel pueden ser llenados directamente desde los tanque almacén y el colector del turbogenerador puede llenarse a través del purificador de aceite lubricante o usando las bombas de trasiego de aceite lubricante.

El tanque colector de aceite principal puede ser purificado o bombeado directamente al tanque almacén y al tanque de renovación. Esta operación se realiza cuando el tanque tiene que ser limpiado o reparado, o cuando se ha producido la contaminación de su contenido. El tanque de renovación cuenta con unos serpentines de calentamiento que facilitan la purificación y la limpieza.

Las bombas de trasiego de aceite lubricante, controladas por el IAS, se usan para trasegar aceite desde una parte del barco a otra, incluido el trasiego desde el tanque colector hasta el tanque almacén y de renovación. Las bombas de trasiego de aceite lubricante están conectadas

con las bombas de lodos, esto es así para evitar la contaminación del aceite limpio con aceite sucio, por lo cual se bombea el aceite sucio a la zona de lodos.

Las bombas de trasiego tienen la succión en los siguientes lugares:

- ✓ Tanque colector aceite principal.
- ✓ Tanque aceite bocina.
- ✓ Tanque aceite maquinaria cubierta.
- ✓ Tanque maquinaria cubierta de popa
- ✓ Carter aceite generador diesel.
- ✓ Tanques aceite turbinas.
- ✓ Tanque renovación y almacén de aceite.

Y descargan en los siguientes lugares:

- ✓ Tanque aceite bocina.
- ✓ Tanques aceite turbina.
- ✓ Tanques renovación y almacén aceite.
- ✓ Conexión tierra.
- ✓ Tanques aceite maquinaria cubierta.
- ✓ Línea de conexión con lodos.

10.- SISTEMA DE SENTINAS**10.1 SEPARADOR DE SENTINAS Y SISTEMA DE SENTINAS EN CÁMARA DE MÁQUINAS**

Los equipos instalados en este sistema son los siguientes:

Bomba alternativa sentina cámara de máquinas
Tipo Bomba alternativa pistón vertical
Nº Bombas 1
Capacidad 15 m3/h a 3,5 kg/cm2
Características motor 2 kW 1.745 rpm 440 V

Bomba centrífuga sentina cámara máquinas
Tipo Bomba centrífuga autocebada
Nº Bombas 1
Capacidad 170 m3/h a 3,5 kg/cm2
Características motor 23,1 kW 1.775 rpm 440 V

Bomba sentinas y contra incendios (Doble velocidad)
Tipo Bomba centrífuga autocebada
Nº Bombas 1
Capacidad 150/125 m3/h a 10/3,5 kg/cm2
Características motor 17/58,3 kW ; 1.191/1.788 rpm 440 V

Separador Sentina
N° Equipos 1
Capacidad 4,0 m3/h
Bomba 4,0 m3/h a 3,5 kg/cm2
Características motor 0,5 kW

Bomba centrífuga de lastre central
Tipo Bomba centrífuga autocebada
N° Bombas 3
Capacidad 2.000 m3/h a 35 m

La bomba alternativa de la sentina puede tomar succión de los siguientes elementos para posteriormente descargarlo en el tanque de sentinas:

- ✓ Pozo de sentinas cámara de máquinas.
- ✓ Tanque de agua de refrigeración bocina.
- ✓ Coferdans de babor y estribor.
- ✓ Pozos de bombas de condensado.
- ✓ Coferdans de doble fondo.
- ✓ Condensador principal.
- ✓ La bomba centrífuga de sentinas tiene succión de los siguientes elementos:
- ✓ Pozo de sentinas cámara de máquinas.
- ✓ Tanque de agua de refrigeración bocina.
- ✓ Coferdans de babor y estribor.
- ✓ Pozos de bombas de condensado.
- ✓ Coferdans de doble fondo de popa.

La bomba centrífuga puede tomar succión directamente de los pozos de sentina de popa y de babor y estribor de proa. Esta bomba puede descargar directamente al exterior.

La bomba autocebada de contra incendios y sentina toma succión de la succión principal de sentina y de la succión principal de agua de mar, pudiendo descargar al exterior, en el sistema de contra incendios y limpieza de cubierta, y se puede utilizar para vaciar el agua de lastre.

La bomba de lastre central cuenta con una succión de sentina de emergencia mediante una válvula de volante de 460mm encima de la plataforma inferior.

El sistema IAS controla en todo momento las bombas de sentinas, las bombas de contra incendios/sentina, la bomba alternativa de sentinas y la bomba de lodos.

El separador de sentinas cumple con la resolución IMO MEPC 60(33) e instala un medidor de contenido de aceite con alarma. El objetivo de este equipo es la de separar el aceite del agua de sentinas dejando una proporción de aceite en el agua inferior a 15 ppm antes de descargar el agua al mar. El equipo cuenta con un tanque y una sección de separación. Está formado por un tanque que contiene carbón cubierto de epoxy, un medidor de aceite del tipo OMD-11, una bomba de extracción, válvulas, manómetro, filtros, indicador de nivel y un calentador interno para facilitar la separación.

10.2 SISTEMA DE SENTINAS DE PROA

La sala de la bomba contra incendios de emergencia, las cajas de cadenas, la sala de la planta de potencia hidráulica y la sala eléctrica de proa cuentan con pozos de sentina que utilizan un vaciador de sentinas. Este vaciador tiene una capacidad de 30 m³/h y es accionado por el agua de mar del sistema contra incendios por medio de las bombas contra incendios. El agua de sentina es directamente descargada por la borda a través de una válvula de control instalada en el casco. El pique de proa también puede ser vaciado en situación de emergencia por el vaciador de sentinas.

11.- SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO**11.1 SISTEMA DE AIRE DE CONTROL**

Los equipos instalados en este sistema son los siguientes:

Compresor aire control
N° Compresores 2
Tipo Tornillo refrigerado con agua
Capacidad 250 m3/h a 9 kg/cm2

Secador aire control
N° Secadores 2
Tipo Desecante, calor autoregenerativo
Capacidad 250 m3/h a 9 kg/cm2

Secador aire control
N° Secadores 2
Tipo Refrigerante
Capacidad 250 m3/h a 9 kg/cm2

Depósito aire control
N° Depósitos 1
Capacidad 7 m3
Válvula seguridad 10,0 kg/cm2

El sistema de aire de control es alimentado desde el depósito de aire de control, el cual es abastecido por dos compresores de aire de control. Uno está trabajando mientras uno está en espera.

El compresor en funcionamiento arranca y para en función de las demandas de aire que tenga el depósito. El sistema opera a una presión de 9 kg/cm² y el aire es pasado por un secador al salir del depósito. Este depósito también puede ser alimentado por los compresores del sistema de aire de servicio mediante una válvula de conexión, por lo cual el sistema de aire de control también puede suministrar aire al sistema de aire de servicio. Los dos sistemas operan a la misma presión por lo cual no hay que colocar válvulas reguladoras de presión. El aire antes de ser suministrado pasara por uno filtros después de pasar por los secadores. Hay dos pares de secadores instalados, pero normalmente operara un par. Un par es refrigerado y otro es de tipo auto regenerativo, los cuales trabajan en tandem. Se realizaran las conexiones necesarias para trabajar con un secador de cada tipo. Toda la instalación cuenta con válvulas de seguridad.

11.2 SISTEMA DE AIRE DE SERVICIOS GENERALES

El compresor instalado en este sistema es el siguiente:

Compresor aire servicio
Nº Compresores 2
Tipo Tornillo refrigerado con agua
Capacidad 150 m ³ /h a 9 kg/cm ²

El aire de servicio se obtiene de dos compresores de aire que llenan el depósito de aire de servicio. Este sistema también puede ser alimentado, como se ha comentado con anterioridad, por el sistema de aire de control. Uno de los compresores se encuentra en espera y entra en funcionamiento cuando se para el otro por razones de avería o mantenimiento. El compresor en funcionamiento se para o pone en marcha dependiendo del nivel de aire dentro del depósito de aire de servicio.

El sistema de aire de servicio suministra aire a los siguientes servicios:

- ✓ Servicios cubierta.
- ✓ Servicios acomodación.
- ✓ Servicios cámara de máquinas.
- ✓ Sala de CO₂ y espuma.
- ✓ Sala generador de emergencia.
- ✓ Sala incinerador.
- ✓ Sala de gas.
- ✓ Pañol pinturas.
- ✓ Pañol de cubierta.
- ✓ Calderas.
- ✓ Generador N₂.
- ✓ Taller.
- ✓ Unidad cambiadora de iones.
- ✓ Sala servotimón.
- ✓ Sala gas inerte.
- ✓ Atomizadores de caldera.
- ✓ Bocina.

11.3 SISTEMA DE AIRE DE ARRANQUE

Los compresores instalados son los siguientes:

Compresor aire principal
N° Compresores 2
Tipo Alternativo refrigerado con aire
Capacidad 15 m3/h a 30 kg/cm2

Compresor aire emergencia
N° Compresores 2
Tipo Alternativo refrigerado con aire con accionamiento diesel
Capacidad 6 m3/h a 30 kg/cm2

El sistema de arranque del motor del generador diesel está suministrado por el depósito de aire de arranque que está abastecido de aire comprimido por dos compresores. Este sistema también alimenta al depósito de aire para el arranque del generador de emergencia, situado en la sala del generador de emergencia. Los dos compresores suministran aire al sistema, cuando el nivel de este desciende. El depósito debe tener la capacidad suficiente para realizar el número de arrancadas de motor estipuladas.

Los compresores cuentan con 2 válvulas de seguridad, una antes de la primera etapa de compresión y otra en la descarga de la segunda etapa de compresión. Los compresores se detendrán si la presión de aceite es inferior a unos valores de seguridad. También se producirá el disparo del compresor si se excede el límite de temperatura. Los compresores cuentan con

sistemas de descarga de actuación automática para realizar las paradas y los arranques sin carga de aire en el compresor, lo cual hace que la carga eléctrica en los arranque sea mucho menor.

El depósito de emergencia debe ser llenado al mismo tiempo que de arranque. Todo el sistema cuenta con elementos de medida para realizar un control automático del mismo.

El compresor de aire de emergencia entra en funcionamiento cuando se produce una caída del sistema, producida por la parada de los compresores principales. Por esta razón el sistema cuenta con un motor diesel, por si la razón de la parada de los compresores principales es de origen eléctrico.

12.- SISTEMAS DE ACOMODACIÓN**12.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE GAMBUZA**

Los equipos instalados son los siguientes:

Planta de refrigeración
Tipo Expansión directa
Tipo refrigerante R507

Compresores espera y congelación
N° Compresores 2
Tipo Alternativo refrigerado por aire
N° Cilindros 4
Potencia 6,6 kW

Compresores refrigeración
N° Compresores 1
Tipo Alternativo refrigerado por aire
N° Cilindros 2
Potencia 4,4 kW

Refrigeradores de aire
Gambuza carne 1 tipo FRB
Gambuza pescado 1 tipo FRB
Gambuza vegetales 1 tipo FRM
Gambuza lácteos 1 tipo FRM
Antecámara 1 tipo FRM

La conservación de la carne, el pescado, los vegetales, los lácteos se realiza mediante dos unidades de refrigeración mediante expansión directa del refrigerante R507.

La descarga de gas refrigerante a la atmósfera está restringida a un máximo del 10% de la carga total del sistema en un año. Por este motivo se instala un sistema de control de pérdidas.

El sistema consiste en tres compresores, dos condensadores y un serpentín de evaporación en cada una de las cámaras o gambuzas, incluyendo la antecámara. Antes de cada serpentín se instalan válvulas de expansión termostáticas. Se instalara un separador de aceite entre cada compresor y cada condensador. Los condensadores instalados serán de tubos horizontales.

La planta está diseñada para operar con dos compresores simultáneamente, uno independiente del otro. El pequeño de los compresores, el de refrigeración dará servicio a las gambuzas de lácteos, vegetales y a la antecámara, mientras que el compresor de congelado dará servicio a la gambuza de carne y a la de pescado.

El compresor en espera es de la misma capacidad que el de congelado, pero podrá dar servicio a todas las gambuzas y a la antecámara en el caso de que uno de los compresores en servicio falle. El aire en las gambuzas es circulado por ventiladores eléctricos conectados al evaporador. Cuando la temperatura es la correcta en las cámaras las válvulas de expansión se cierran, con ayuda del termostato, el cual también hace parar al compresor. Si la temperatura aumenta las válvulas se abren y arrancan los compresores. Estas válvulas son de tipo solenoide.

Las gambuzas de carne y pescado cuentan con equipos de calentamiento para evitar la formación de escarcha. Estos calentadores también se utilizan para evitar la formación de hielo en los procesos de descongelación.

Habrán alarmas de bajo nivel de aceite en los compresores. Su activación provocará el disparo del compresor.

12.2 PLANTA DE AIRE ACONDICIONADO EN ACOMODACIÓN

Los equipos instalados son los siguientes:

Planta aire acondicionado
Refrigerante R-507
Nº Unidades 2
Compresor
Tipo Husillo giratorio
Velocidad 3.600 rpm
Motor 110 kW
Condensador
Nº Unidades 2

Unidad de tratamiento de aire
Nº Unidades 2

El cometido del sistema de aire acondicionado es el de enfriar el aire de los espacios requeridos, calentar aire, quitar el exceso de humedad del aire o humedecer el aire si es necesario para obtener el nivel de confort necesario. Una atmósfera confortable es la combinación del control de la humedad y de la temperatura.

Para secar el aire con pasarlo por los evaporadores, donde se enfría es suficiente. Para aumentar la humedad será necesario inyectar vapor en el sistema.

El aire suministrado a la acomodación pasa por dos unidades de tratamiento de aire situadas en la cubierta principal. Estas unidades consisten en unos ventiladores que hacen pasar el aire por una cámara donde se mezcla el aire del circuito y el aire fresco, para hacer una mezcla y reciclar el aire, también lo pasa por unos serpentines de calentamiento de vapor de baja presión, por un evaporador para refrigerar el aire y por unas toberas de inyección de vapor del generador de vapor.

El aire entra forzado en los conductos de distribución. Existen circuitos de circulación.

También se puede hacer circular aire fresco. La proporción de aire fresco se puede ajustar. El calor al sistema se le da mediante el vapor de 9 kg/cm² reduciéndolo con una válvula reductora de presión a 4 kg/cm². El aire pasa por unos filtros accesibles y retardantes de llama.

Los dos compresores son capaces de dar el 100% de la capacidad requerida. En condiciones normales solo operara un compresor. Los evaporadores cuentan con válvulas de expansión, controladas por el sistema electrónico de control. Los compresores están equipados con dispositivos de seguridad frente situaciones de alta o baja presión del líquido refrigerante.

12.3 PLANTA DE AIRE ACONDICIONADO EN CÁMARA DE MÁQUINAS

Los equipos instalados son los siguientes:

Planta aire acondicionado
Tipo Expansión directa
Refrigerante R-507

Compresor
Nº Unidades 2
Tipo Alternativo
Potencia 45 kW 1750 rpm 440 V

Condensador
N° Unidades 2
Tipo Tubos horizontal

Unidades de tratamiento de aire
Cámara de máquinas y taller 1 unidad tipo ECV-2002
Cuadro eléctrico 2 unidad tipo ECV-3002
Pañol y taller eléctrico 1 unidad tipo ECV-701
Sala control 2 unidad tipo ECV-2402
Laboratorio 1 unidad tipo BSH-171

La planta de aire acondicionado trabaja bajo el principio de la expansión directa y está constituida por dos compresores, dos condensadores, un tanque colector de refrigerante y siete unidades de tratamiento de aire. Cada unidad de tratamiento está provista de un evaporador, filtros, termostato y un serpentín de calentamiento situados en 5 compartimentos diferentes.

Cada compresor puede suministrar el 100% de la capacidad demandada por el sistema, por lo cual en condiciones normales solo funcionara uno de los compresores. Los compresores no estarán diseñados para trabajar en paralelo, por lo cual solo es necesaria una línea de lubricación, con una válvula de tres vías para controlar a que compresor se le suministra lubricación. Los compresores tienen la succión en el retorno del sobrecalentador de gas de los evaporadores.

Después de la compresión y del aumento de la presión y temperatura del gas pasa al condensador donde es refrigerado con el sistema de agua dulce volviendo a ser líquido. Una vez líquido pasa al depósito. Las válvulas de expansión termostáticas controlan el paso del líquido a través del evaporador.

Los sistemas de protección de los compresores son los mismos que los instalados en el sistema de aire acondicionado de acomodación.

12.4 INCINERADOR Y TRATAMIENTO DE BASURAS

El incinerador seleccionado es el siguiente:

Incinerador
Capacidad 200.000 kcal/h
30 l/h aceite sentinas
200 l residuo sólido por carga
Temperatura cámara combustión Máxima 1200°C
Trabajando 850-1150°C
Temperatura tubo de gases Máxima 375°C
Trabajando 250-340°C

El incinerador está diseñado para quemar basuras sólidas y aceites sucios de la cámara de máquinas con ayuda de gas oil para la combustión cuando es requerido. Las capacidades del incinerador han sido mostradas anteriormente.

El incinerador está formado por cuatro partes:

- ✓ Cámara de combustión con quemadores de gas oil.
- ✓ Ventilador tubería de gases.
- ✓ Colector de residuos de la tubería de gases.
- ✓ Tanque de lodos con bomba de circulación y calentador.

Los lodos se deberán mantener a una temperatura de 60-90°C. Todo el proceso de combustión es controlado automáticamente y monitorizado mediante el PLC (Programmable Logic Controller).

Todo este proceso debe ser controlado por reglamentación. El MARPOL en su anexo V de descarga de residuos sólidos al mar, establece unas zonas especiales de protección debido a las características especiales de zona, ya sea por sus características oceanográficas o su importancia ecológica.

Las zonas protegidas son las siguientes:

- ✓ Mar Báltico.
- ✓ Zonas del mar del Norte.
- ✓ Océano Antártico.
- ✓ Mar Rojo.
- ✓ Mar Negro.
- ✓ Golfo Pérsico.
- ✓ Golfo de Adén.
- ✓ Gran parte del Caribe incluido el golfo de México.
- ✓ Mar Mediterráneo.

Los residuos que no se pueden descargar al exterior en estas zonas protegidas son, según el anexo V del MARPOL, los siguientes:

- ✓ Plásticos, metales, cristal, trapos.
- ✓ Basura en un límite de 12 millas náuticas de la zona. Restos de comida si podrán tirarse si el tamaño de las piezas es inferior a 1 pulgada.
- ✓ No se podrá tirar ningún residuo sólido, incluido comida, en un límite de 3 millas náuticas de la zona protegida.
- ✓ Elementos de embalaje, cintas, forros, etc en un límite de 25 millas náuticas de la zona protegida.
- ✓

Para cumplir con lo dispuesto en el MARPOL 73/78 hay que tratar los siguientes residuos:

- ✓ Residuos de comida.
- ✓ Residuos secos quemables, plásticos y otros.
- ✓ Residuos secos no quemables.
- ✓ Otros residuos, incluidos trapos aceitosos y latas, contenedores químicos y escorias de incinerador.

El MARPOL en 1997 añadió un anexo VI que regulaba la contaminación del aire por barcos. Este anexo en su regulación 16 obliga la instalación de un incinerador desde el 1 de enero de 2000.

La regulación 16 del anexo VI prohíbe la incineración de los siguientes elementos:

- ✓ Residuos de carga especificados en los anexos I, II y III del MARPOL 73/78.
- ✓ Bifeniles Policlorinados (PCB).
- ✓ Basura definida en anexo V.
- ✓ Productos refinados del petróleo que contengan compuestos halogenados.
- ✓ Cloritos de Polivinilo (PVC), excepto por incineradores con aprobación IMO.

Por la regulación 16 es necesario el control de la temperatura en conducto de exhaustación de gases.

12.5 VENTILACION EN CAMARA DE MÁQUINAS

Para el calculo de la ventilación en cámara de maquinas se ha realizado una estimación del calor emitido en el local, así como de la cantidad de aire requerida por los equipos para su correcto funcionamiento. Estas características se han obtenido a partir de datos de los fabricantes.

13.- SISTEMAS DE AGUA DULCE Y SANITARIA*1.- Sistema de agua dulce sanitaria:*

Los equipos instalados son los siguientes:

Generador agua dulce
N° Unidades 2
Tipo Baja presión
Capacidad 22 tn/día

Bomba Hidróforo agua dulce
N° Unidades 2
Tipo Centrífuga
Capacidad 5,4 m3/h a 6 kg/cm2

Bomba circulación agua caliente
N° Unidades 2
Tipo Centrífugas
Capacidad 2 m3/h a 2,0 kg/cm2

Esterilizador (Ion de plata)
N° Unidades 1
Tipo Ion plata
Capacidad 1,5 m3/h agua dulce

Esterilizador (Ultravioleta)
N° Unidades 1
Tipo Ion plata
Capacidad 1,5 m3/h agua dulce

Filtro dureza
N° Unidades 1
Tipo Ajuste dureza y pH
Capacidad 1,5 m3/h agua dulce

Calentador
N° Unidades 2
Tipo Vapor y eléctrico
Capacidad 0,6 m3/h

Hay dos plantas de destilado de agua dulce que trabajan a baja presión usando como fuente de calor vapor desrecalentado. Una planta refrigera el condensado y la otra refrigera el agua. Cada planta cuenta con su propio eyector de aire y bombas de destilado. Los eyectores están accionados por el sistema de refrigeración de agua salada, mediante las bombas de alimentación que hacen el vacío en el eyector. Se trabaja a vacío porque así es mucho inferior la cantidad de calor que hay que suministrar al agua salada para evaporarla. Una vez evaporada el agua se condensa en las paredes refrigeradas. De esta forma se obtiene el agua dulce. Posteriormente este agua se refrigera.

El agua obtenida es extraída por las bombas de destilado y descargada a través de salinómetro para medir la concentración de sal en el agua. Si el valor de salinidad es superior al estipulado el agua es retornada al evaporador.

Si el agua cumple las condiciones de salinidad es descargada en el sistema de agua sanitaria y en los tanques de agua destilada. El agua destilada para acomodación primero pasa por la unidad de dureza para aumentar la dureza y el pH del agua, ya que si no se realizase esto el agua no se podría consumir en zona de habitación. Una vez adecuadas las condiciones del agua es almacenada en los tanques de agua dulce sanitaria.

El agua destilada es utilizada para los servicios de refrigeración de maquinaria y alimentación de calderas como se ha comentado en apartados anteriores.

El hidróforo suministra agua dulce fría que se puede beber al barco, agua sanitaria y agua para servicios técnicos. El hidróforo también suministra agua al calentador para suministrar agua caliente en habitación. El sistema cuenta con equipos de esterilización por rayos ultravioletas. El agua también puede ser tomada en puerto por las tomas que están situadas en los manifold de carga.

El agua de uso doméstico está almacenada en dos tanques de capacidad 112 m³ respectivamente, situados a babor en el local del servotimón. Hay dos bombas hidróforas de agua dulce que tienen la succión en los tanques almacén de agua dulce doméstica. Esta bombas llenan el deposito hidróforo. Este tanque antes de ser llenado se llena de aire del sistema de aire de servicio.

La presión en este tanque controla el arranque y parada de las bombas hidróforas de agua dulce. Las bombas del sistema estarán funcionando todo el tiempo para el mantenimiento de la presión en el circuito

Para el calentamiento del agua esta se hace pasar por una de las dos bombas de circulación de agua caliente que la pasa al calentador, el cual calienta el agua usando vapor o una resistencia eléctrica. En la parte superior del sistema está el hidróforo. Las bombas se pueden intercambiar en su operación para que no trabajen muchas horas sin parar. El sistema suministra agua caliente en habitación, en el taller, en el laboratorio y en los servicios de la cámara de máquinas.

2.- Planta de tratamiento de aguas residuales:

Los equipos instalados son los siguientes:

Planta de tratamiento de aguas residuales
N° Elementos 1
Tipo Oxidación biológica
Capacidad 2.000 l/día

- ✓ Bomba descarga 3,0 m³/h a 3 kg/cm²
- ✓ Sopladores de aire
- ✓ Tanque de cloro 83 l

Tanque almacén de aguas residuales
N° Elementos 1
Capacidad 18 m ³

- ✓ Bomba descarga 3,0 m³/h a 32 m

El sistema es alimentado por gravedad a la planta de tratamiento o los tanque almacén. Este tanque tiene una capacidad de 20 m³ y está diseñado para cuando el barco navegue en zonas costeras o en puerto, donde esta prohibido la descarga al exterior. Durante la operación del barco se descarga a los tanques de almacenaje de la planta de tratamiento donde sufrirá una oxidación biológica y luego se podrá descargar al exterior.

La planta de tratamiento esta constituida por tres compartimentos, el de aireación, el de clarificación y la zona de contacto con el cloro. En la zona de aireación es donde se produce la descarga de todos los urinarios, servicio, etc del barco. Los gases producidos allí por la acción bacteriana son extraídos por la chimenea del barco. La acción de las bacterias produce dióxido de carbono, agua y nuevas bacterias. En los siguientes compartimentos se siguen realizando

procesos de descomposición u oxidación orgánica. En todo el proceso hay recirculación de una cámara a otra para mejorar el mecanismo de oxidación.

Para la descarga de la planta se cuenta con dos bombas centrifugas cuyas succiones están conectadas a las distintas cámaras (aireación, clarificación y cloración). En operación normal la única válvula que esta abierta es la de la cámara de cloración. Las de las otras cámaras solo se abren para operaciones de mantenimiento. La descarga se realiza al exterior. En todos los procesos hay control de nivel de los tanques y cámaras. El sistema IAS controla todo el proceso.

14.- SISTEMA DE CONTROL DE VÁLVULAS DE FO, DO Y LASTRE

Todas las válvulas para el manejo del lastre, DO y FO son operadas de forma hidráulica por una unidad de potencia hidráulica, lo cual también sirve de suministro de potencia en caso de fallo en la unidad de potencia hidráulica de manejo de la carga. Las válvulas son de tipo solenoide. La unidad de potencia y las válvulas solenoides están colocadas en la cámara de máquinas en la primera plataforma en estribor. Todo el sistema es controlado por el sistema IAS. En caso de emergencia se utilizarían cuatro bombas portátiles y se actuarían manualmente las válvulas solenoides. Las válvulas solenoides funcionan con corriente de 24 V suministrada por el transformador de 220/24 V.

La unidad de potencia hidráulica cuenta con un tanque de 400 l y dos bombas situadas en la parte superior del tanque. Cada bomba suministra un caudal de 36 l/min a la presión de trabajo, la cual se encuentra entre 110 bar y 140 bar. La succión cuenta con un filtro de 150 micras. El sistema cuenta con válvulas de no retorno y con una válvula de seguridad tarada a 160 bar, la cual retorna el aceite al tanque.

Los diagramas de este sistema se pueden ver en los diagramas del sistema de aceite lubricante especificados anteriormente.

15.- SISTEMA CONTRA INCENDIOS EN CÁMARA DE MÁQUINAS

El barco cuenta con capacidad de detección y lucha contra incendios. El sistema de lucha contra incendios depende de la localización y la naturaleza del incendio. Inicialmente todos los incendios son atacados con equipos de extinción portátiles, en el caso de no funcionar se procederá a la utilización del método más conveniente.

Los equipos portátiles son de tres tipos:

- ✓ Dióxido de carbono CO₂: Para clase A y B. Para clase C solo en estado líquido. Bueno para incendios eléctricos. No usar en zonas abiertas. Peligro de asfixia.
- ✓ Espuma: Para derrames líquidos, incendios con aceites, pinturas, líquidos de limpieza e incendios tipo B. No utilizar en eléctricos.
- ✓ Polvo seco: Para incendios con líquidos y sólidos licuados. Para incendios tipo C y A. También para equipo eléctrico.

El sistema contra incendios es alimentado mediante la bomba contra incendios y la bomba de doble velocidad de contra incendios/sentina, listas en todo momento. También alimentan a este sistema las bombas de emergencia contra incendios, las bombas de spray de agua y la bomba jockey.

Las bombas principales puede tomar agua de las tomas de mar o del sistema de sentinas del barco. El resto de bombas solo puede tomar agua tomas de mar y descargar al sistema principal de contra incendios. La bomba jockey es utilizada para mantener la presión en el circuito de contra incendios cuando el barco está en puerto.

Se ha instalado una bomba de emergencia contra incendios instalada en la hélice de maniobra, en la sala de bombas de contra incendios de emergencia situada entre las cuaderna 288, 294. La bomba es autocebada y toma agua de la toma de mar situada en el compartimento. Esta bomba es independiente al resto, por lo cual puede suministrar al equipo de contra incendios o al de limpieza de cubierta en caso de emergencia, cuando las bombas de cámara de máquinas no funcionan. La bomba es accionada por un motor eléctrico alimentado a 440V, desde el cuadro de emergencia, situado en la sala del generador de emergencia.

Los equipos instalados son los siguientes:

Bomba contra incendios y sentina (doble velocidad)
Tipo Centrífuga vertical autocebada
N° Bombas 1
Capacidad 120/140 m ³ /h a 3,5/10 kg/cm ²

Bomba contra incendios
Tipo Centrífuga vertical autocebada
N° Bombas 1
Capacidad 140 m ³ /h a 10 kg/cm ²
Potencia 55 kW

Bomba Jockey
Tipo Centrífuga vertical autocebada
N° Bombas 1
Capacidad 40 m ³ /h a 10 kg/cm ²
Potencia 16 kW

Bomba spray agua
Tipo Centrífuga vertical autocebada
N° Bombas 1
Capacidad 310 m ³ /h a 10 kg/cm ²

Bomba contra incendios emergencia
Tipo Centrífuga vertical autocebada
N° Bombas 1
Capacidad 196 m3/h a 10 kg/cm2
Potencia 76.2 kW

Los equipos anteriores suministran agua de mar a:

- ✓ Rociadores cámara de máquinas.
- ✓ Rociadores de cubierta.
- ✓ Rociadores en acomodación.
- ✓ Rociadores paños proa.
- ✓ Eductor tanque de lavado y neutralización.
- ✓ Tanque aguas residuales.
- ✓ Tuberías escobenes.
- ✓ Sistema de spray de agua en cubierta.
- ✓ Eductor de lastre.

El sistema de lucha contra incendios cuenta con un *sistema de CO2*. Este sistema protege a las siguientes zonas:

Sistema CO2

- ✓ Local compresores carga 46 botellas
- ✓ Local servotimón 24 botellas
- ✓ Local de cuadros eléctricos 15 botellas

- ✓ Sala control motor 11 botellas
- ✓ Local purificación 7 botellas
- ✓ Taller eléctrico 2 botellas
- ✓ Pañol eléctrico 2 botellas
- ✓ Pañol pinturas 2 botellas
- ✓ Local generador emergencia 3 botellas
- ✓ Local incinerador 2 botellas
- ✓ Laboratorio 1 botellas

El número de cilindros instalados depende del volumen del local donde hay que extinguir el incendio. Como la capacidad máxima se produce en la sala de compresores de maquinaria, el número de botellas será 46. Las botellas serán de 45 kg, situados en el local de CO₂ que se encuentra en la cubierta a 19,09 m sobre la línea base. El sistema es accionado por un sistema de CO₂ separado del sistema de extinción de CO₂. Hay instaladas dos botellas de CO₂, que son las botellas piloto, las cuales accionan la apertura de las botellas de CO₂ para la extinción del fuego. Solo puede abrirse una botella piloto cada vez, por lo cual no pueden trabajar a la vez. El sistema controla el número de botellas que abre en función del local que se quiera llenar con CO₂.

En cámara de máquinas también se cuenta el *sistema de extinción por espuma caliente*. Los equipos necesarios para este sistema son los siguientes:

Sistema de espuma
Nº Unidades 1
Capacidad tanque 4.000 litros
Presión entrada generador 5,5-7,0 kg/cm ²

Bomba de espuma
Tipo Centrífuga vertical
N° Bombas 1
Capacidad 3,2 m3/h
Presión descarga 12 kg/cm2

Bomba contra incendios
Tipo Centrífuga vertical
N° Bombas 1
Capacidad 140 m3/h
Presión descarga 10 kg/cm2

Este sistema utiliza espuma de alta expansión para llenar el local extinguiendo el fuego. Las áreas en que se utiliza son las siguientes:

- ✓ Cámara de máquinas.
- ✓ Local gas inerte.
- ✓ Pañol cámara de máquinas.
- ✓ Taller cámara de máquinas.

La espuma se obtiene con ayuda de agua de mar. Cada línea esta controlada por una válvula de mariposa solenoide. El sistema es de accionamiento manual desde la cámara de control o desde los paneles de cada zona protegida por este sistema. El tanque almacén está situado en el local de espuma situado a estribor de la cubierta a 21,3 m sobre la línea base. El tanque es estándar de 6.000 litros de capacidad de fibra de vidrio reforzado con poliéster para prevenir la corrosión. La capacidad de carga de espumógeno químico es de 5.825 litros. El sistema está diseñado para ser capaz de suministrar espuma a todos los locales equipados con este sistema

a la vez. La espuma producida tiene una concentración del 98% de agua de mar y un 2% de espumógeno. Cada espacio cuenta con un generador de espuma caliente para generara espuma caliente según las indicaciones SOLAS. Tiene una capacidad de producción de espuma de 60 m³/min. Se han empleado un total de 48 generadores repartidos de la siguiente manera:

- ✓ 36 en cámara de máquinas.
- ✓ 6 en local generador gas inerte.
- ✓ 4 en taller cámara de máquinas.
- ✓ 2 en pañol cámara de máquinas.

Estos generadores de espuma caliente utilizan el aire del local que se quema para producir la espuma, por lo cual tiene humo gases de combustión. Cada generador tiene tres toberas de descarga.

La mezcla de espumógeno y agua entra en los generadores de espuma a una presión de entre 5,5 kg/cm² y 7 kg/cm² y con una velocidad que permita generar una presión negativa, la cual hará que el aire y los gases de combustión entren en el generador para formar espuma. Las bombas de accionamiento eléctrico, así como las bombas son alimentadas desde el cuadro principal y desde el cuadro de emergencia.

Otro sistema de extinción de incendios del que dispone la cámara de máquinas es el **sistema de extinción por niebla de agua**. Este sistema tiene instalada la siguiente bomba:

Sistema extinción niebla agua
Nº Bombas 1
Tipo Centrífuga
Capacidad 44 m ³ /h a 6 kg/cm ²

Este sistema inyecta agua a gran presión por los rociadores, lo cual produce una niebla de agua. Esta niebla lo que hace es inundar el espacio sacando el aire existente, un proceso similar al CO₂, lo cual produce la extinción del incendio por falta de oxígeno. Los locales protegidos por este sistema son los siguientes:

- ✓ Plataforma quemadores caldera.
- ✓ Local incinerador.
- ✓ Generador diesel.
- ✓ Local purificación.

Las toberas instaladas son 38 cuya colocación es la siguiente:

- ✓ 10 en el generador diesel.
- ✓ 3 en caldera estribor.
- ✓ 3 en caldera babor.
- ✓ 20 en local de purificación.
- ✓ 2 en el local del incinerador.

Otros elementos auxiliares al sistema contra incendios son los corta fuegos y las válvulas de cierre rápido. Estas válvulas son de accionamiento neumático accionadas por el aire de control a 9 kg/cm² y el sistema de detección contra incendios. Estas válvulas son instaladas en los tanques de aceite lubricante y fuel oil, los cuales pueden alimentar al fuego en caso de emergencia. También existe un sistema de parada de emergencia y de cierre de ventilación. Estos cierres de ventilación están instalados en varios locales del barco. Esas zonas son en las que se puede utilizar CO₂ para la extinción, ya que así se evita que se escape el CO₂. Estos sistemas de parada de ventiladores y cierre de ventilaciones actúa sobre:

- ✓ Ventiladores exhaustación cámara de máquinas.
- ✓ Ventiladores de suministro a cámara de máquinas, proa, popa, babor y estribor.
- ✓ Cierre ventilación local fuel oil.
- ✓ Cierre ventilación talleres de soldadura.
- ✓ Cierre ventilación local generador gas inerte.

En el sistema de control de incendios también se puede actuar sobre los siguientes elementos:

- ✓ Ventiladores de exhaustación y suministro.
- ✓ Bombas aceite lubricante.
- ✓ Bombas fuel oil.
- ✓ Incinerador.
- ✓ Ventiladores ventilación local de gas.
- ✓ Ventiladores acomodación.

En el cuaderno 10 de equipos y servicios del presente proyecto se realizará una explicación en detalle del sistema contra incendios en cubierta y acomodación, así como del equipo de seguridad necesario.

17.- SISTEMA DE GENERACIÓN DE N₂

El equipo instalado en este sistema es el siguiente:

- ✓ Unidad alta capacidad
- ✓ Capacidad 2x90 m³/h
- ✓ Punto de rocío N₂ –65°C a presión atmosférica
- ✓ Composición gas salida Oxígeno <3% en volumen
- ✓ Dióxido de carbono <30 ppm
- ✓ Balance de nitrógeno al 100%

Los dos generadores de nitrógeno, colocados en la tercera cubierta de cámara de máquinas en el lado de babor, producen nitrógeno gaseoso para barrera de aislación de espacios, sello de gas en los ejes de los compresores de alta y baja capacidad, extinción de incendios en mástiles de ventilación de carga y para la purga de los diferentes elementos de las tuberías de carga y sistema de boil-off.

Se comprime aire con un porcentaje de nitrógeno del 78%, 21% de oxígeno y un 1% de otros gases. Mediante un mecanismo de membranas se consigue separar los diferentes gases, gracias a la diferencia de velocidades de los gases. El O₂ y CO₂ es expulsado al exterior por la chimenea.

El aire comprimido para el generador de N₂ es suministrado por el sistema de aire de servicio. El sistema lo alimentan tres suministradores de aire comprimido de 498 m³/h que llenan dos depósitos de aire de 5 m³.

El sistema cuenta con una válvula solenoide de aislamiento y una válvula de control de presión situadas antes del calentador eléctrico de 4 kW. Después hay colocado dos filtros. Después de esto ya están las membranas al cual llega el aire comprimido a una temperatura de 50°C aproximadamente.

El gas generado es almacenado en un tanque de 10,3 m³ de capacidad, que se mueve entre presiones de 460 kPa y 800 kPa. Estas presiones controlan el llenado del tanque. Todo el proceso es controlado por el sistema IAS.

18.- GENERADOR GAS INERTE

Los equipos instalados en este servicio son los siguientes:

Generador gas inerte
N° Elementos 1
Caudal 10.000 m ³ /h
Presión 0,3 bar

Secadores absorción
Tipo Alumina activa regenerativa
Caudal 10.000 m ³ /h

Secador regenerativo
Tipo Jevi
Calentador 210 kW

Planta refrigeración R404A
Motor 120 kW a 1.800 rpm

Unidad sopladores de aire GGI
Motor 120 kW a 1.800 rpm

Bomba suministro MDO al GGI
Motor 2,5 kW
Capacidad 2,0 m3/h

Medidor punto de rocío
N° Elementos 1
Caudal 10.000 m3/h
Presión 0,3 bar

Generador gas inerte
Capacidad 4-20 mA

Bomba agua salada refriger. gas inerte
Tipo Centrífuga
Capacidad 1.020 m3/h a 3,9 bar
Motor 155 kW

El agua dulce de refrigeración para el generador de gas inerte la suministra la bomba principal de refrigeración de agua dulce, la cual es de tipo centrífuga, de 650 m3/h a 3 bar y de 75 kW.

Las características del gas inerte producido deben de ser las siguientes:

- ✓ Composición gas inerte
- ✓ Oxígeno O2 Máximo 1,0% en volumen

- ✓ Dióxido de carbono CO₂ 14% en volumen
- ✓ Monóxido de carbono CO Máximo 100 ppm
- ✓ Óxidos de azufre SO_x Máximo 10 ppm
- ✓ Óxidos de nitrógeno NO_x Máximo 100 ppm
- ✓ Nitrógeno N₂ Resto

Para obtener estas características se necesitan los siguientes consumos en los equipos:

Consumos

- ✓ Consumo agua de mar 600 m³/h
- ✓ Consumo agua dulce 4 m³/h
- ✓ Consumo diesel oil 1.430 kg/h
- ✓ Consumo de vapor 9 bar
- ✓ Quemadores 2.000 kg/h
- ✓ Calentadores de secado 640 kg/h

El sistema de generación de gas inerte se emplea para inertización de tanques de carga, tuberías y espacios, así como para la liberación de gas a la atmósfera. El gas contiene una proporción del 85% de N₂, 15% CO₂ y un 0,5% de O₂, a una temperatura superior en 5°C a la temperatura del agua del mar.

El gas después de la combustión tiene un alto porcentaje en sulfuros, por lo cual es corrosivo. Para evitar esto el gas se pasa por la torre de lavado y refrigeración. Posteriormente el gas es refrigerado hasta una temperatura superior en 5°C a la temperatura de rocío mediante el refrigerador con gas R404A. Posteriormente el gas es secado en la cámara de secado mediante aire calentado eléctricamente. Posteriormente el gas pasa el tubería de descarga. El sistema cuenta con un analizador de O₂ para controlar el nivel de este, si el nivel es alto el sistema se cierra y se drena el circuito. El circuito cuenta con válvulas de control de presión y válvulas de suministro. Todo el proceso es controlado por el sistema IAS.

19.- SISTEMA DE CONTROL IAS

El sistema IAS (Integrated Automation System) es un sistema integrado de automatización, el cual es necesario para la clasificación del buque con cámara de máquinas desatendida. El sistema monitoriza y controla todas las plantas importantes del barco, como puede ser la propulsión, generación eléctrica, calderas, maquinaria auxiliar, sistemas de carga y lastre, etc.

Las funciones básicas incluyen:

- ✓ Monitorización de sistemas y procesos.
- ✓ Control de situaciones y monitorización.
- ✓ Control de funciones (Motores, válvulas, etc).

La principal funciones del sistema se aplican a las siguientes funciones:

- ✓ Manejo de potencia.
- ✓ Planta propulsora.
- ✓ Manejo de gas.
- ✓ Control de carga y lastre.

El equipo IAS será el modelo Simrad vessel control del Fabricante Kongberg Simrad.

20.- BALANCE DE VAPOR

1-Necesidades de vapor de la turbina principal, turbo bombas y turbogenerador

Para alimentar a la turbina principal es necesario producir vapor sobrecalentado a una presión de 62 kg/cm² y una temperatura de 515°C (h = 825 kcal/kg), para que llegue a la turbina con una presión de 60 kg/cm² y una temperatura de 510° C (h = 823 kcal/kg) después de haber alimentado a las turbo bombas y a los turbogeneradores. A la salida de la turbina las condiciones del vapor son 41,5 °C y 0,08 kg/cm².

Para la estimación del consumo de vapor de la turbina podemos realizar el siguiente cálculo:

$$\text{Potencia Turbina de vapor} = m \cdot (h_1 - h_2)$$

$$14.700 \text{ kW} = m \cdot (3.446 \text{ kJ/kg} - 2.576 \text{ kJ/kg})$$

De esta forma obtenemos el caudal de vapor necesario para suministrar la máxima potencia de la turbina de vapor :

$$m = 16,9 \text{ kg/s} = 60.827 \text{ kg/h}$$

Para el calentamiento de tanques interesa que durante el proceso de transferencia de calor el vapor este condensándose pues es en esta condición cuando mayor es el coeficiente de transmisión. En cuanto a temperaturas cuanto mayor sea esta menor será la superficie de transmisión. Sin embargo, es bien conocido, que en condición de saturación presión y temperatura están indisolublemente unidos, por lo cual, un aumento de la temperatura aumenta la presión y de rechazo encarece el sistema pues obliga a usar mayores espesores tanto en la generación como en la distribución. Por ello se ha llegado a una solución de compromiso, por la cual hoy en día es normal generar vapor a 7 kg/cm² cuando los usos que van destinado es calefacción. La temperatura de saturación y la entalpía de vaporización a esta presión son respectivamente 165 °C y h=494,2 kcal/kg. La caldereta de gases de escape, que va a ser utilizada para calefacción, ira a esta presión. También se va a disponer de una rama secundaria, en la que se va a utilizar vapor saturado seco a 4 kg/cm², con una temperatura de saturación de 143 °C y un calor latente de condensación en esas condiciones de h=510,2 kcal/kg.

La línea de vapor consta de dos generadores de vapor a 7 kg/cm², que funcionan alternativamente; una serie de conducciones, con los correspondientes purgadores y mecanismos para absorber las dilataciones, que llevan el vapor hasta los consumidores; las conducciones de retorno del vapor condensado y sin condensar; un condensador de este último; un tanque cisterna donde se recoge todo el condensado y dos conjuntos de bombas (una de respeto) de alimentación de las calderas, tanto de la de gases como la de mecheros. La presión de descarga de estas bombas debe poder vencer la presión de la caldera de 7kg/cm² y las correspondientes pérdidas de carga con un margen suficiente, por lo que puede bastar con una bomba de presión de trabajo de 9 kg/cm².

Se evaluará el consumo de vapor en dos situaciones de operación diferentes: navegación y puerto.

Los saltos de temperatura, necesidades de calefacción y pérdidas de calor se determinan teniendo en cuenta los siguientes valores:

- **Temperaturas de espacios adyacentes a tanques calientes.**

Agua de mar: **0°C.**

Aire atmosférico: **5°C.**

Cámara de máquinas: **20°C.**

Espacio vacío o similar adyacente a un tanque caliente: **10°C.**

Tanques de lastre: **5° C.**

Aire en bodegas: **10°C.**

	<i>Temp.Inicial</i>	<i>Temp.Final</i>	<i>Tiempo calef.</i>	<i>densidad</i>	<i>Calor espec.</i>
T.AlmacenFO	5 °C	40 °C	48h	991kg/m ³	0,44 kcal/kg°C
T.Sedim. FO	40 °C	70 °C	12h	991kg/m ³	0,44 kcal/kg°C
T.Serv. diario de FO	98 °C	98 °C		991kg/m ³	0,44 kcal/kg°C
T.Aguas Aceit	20 °C	60 °C	4h	900kg/m ³	0,5 kcal/kg°C
T.Lodos	20 °C	50 °C	4h	950kg/m ³	0,6 kcal/kg°C
T.Aceite	20 °C	45 °C	2h	900kg/m ³	0,47 kcal/kg°C
T.Reboses FO	20 °C	65 °C	2h	900kg/m ³	0,47 kcal/kg°C
T.Caldera M.	40 °C	40 °C		991kg/m ³	0,44 kcal/kg°C

NECESIDADES DE VAPOR

Al hacer el estudio de las necesidades de vapor a la hora de suministrar calor a un tanque, se deben tener en cuenta dos partidas distintas:

- Por un lado esta la energía necesaria para levantar la temperatura desde la situación inicial hasta la final. La cantidad de calor necesaria que debe ser aportada esta dada por la siguiente expresión:

$$q_a = \frac{C \cdot C_e \cdot \Delta T}{\tau}$$

q_a : Calor a aportar expresado en kcal/hora

C : Masa a Calentar expresada en kg

C_e : Calor Específico expresado en kcal/kg.°C

ΔT : Salto de temperatura, $T_{\text{Final}} - T_{\text{Inicial}}$

τ : Tiempo de calentamiento, expresado en horas

- Por otra parte están las necesidades debido a las pérdidas a través de las paredes (o mamparos). El valor de dichas pérdidas a través de cada pared esta dado por:

$$q_{pi} = \sum K_i \cdot S_i \cdot \Delta T_i$$

q_{pi} : Calor se pierde a traves de la pared i, en unidad de tiempo, kcal/hora

S_i : Superficie (pared) normal al flujo de calor expresada en m²

K_i : Coeficiente Global de Transmisión, de la pared i, engloba

la transmisión por conducción y convección, expresado en kcal/m² · h.°C

ΔT_i : Diferencia de temperatura entre la temperatura media del tanque (T_m), es decir semisuma de la inicial y final, y la temperatura exterior de la pared i (T_e).

Realizando la suma de los dos términos anteriores obtenemos el suministro total de calor: calor tomado por el fluido más el calor transmitido al exterior del tanque.

$$q = q_a + q_{pi} \text{ (kcal/h)}$$

2-Necesidades de Vapor del Sistema de Combustible

➤ Tanques almacén de H.F.O

Dado el considerable volumen de cada uno de los tanques almacén, se va a tomar un tiempo de calefacción de 48 horas. El calor específico del combustible se supondrá 0,44 Kcal / (Kg·°C). La temperatura inicial será de 5 °C y la final de 40 °C.

En el buque disponemos de seis tanques almacén de combustible. Los requerimientos para estos serán los que a continuación se detallan:

a) Tanques almacén de Fuel Oil 1 y 2

Los tanques de Fuel Oil 1 y 2 son simétricos por lo que las necesidades de vapor para ambos serán las mismas.

SUPERFICIE LIMITE DEL TANQUE	SUPERFICIE ADYACENTE	Si (m ²)	Ki (kcal/m ² h° C)	Te (° C)	(Tm-Te) (°C)	Si·Ki·(Tm-Te) (kcal/h)
Mamparo de proa	Tanque	88	6	10	12,5	6.600
Mamparo de popa	Tanque	88	6	10	12,5	6.600
Lateral	Cámara de maquinas	34,33	6	5	17,5	3.605
Lateral	Pasillo central	30,58	6	10	12,5	2.294
Fondo	Camára de máquinas	4,62	6	5	17,5	485
Techo	Pasillo	20,6	6	10	12,5	1.545

Calor para elevar la temperatura y compensar pérdidas:

$$q_a = 150 \cdot 991 \cdot 0,44 \cdot (40 - 5) / 48 = 47.691,9 \text{ kcal/h}$$

$$q_{pi} = \Sigma Si \cdot Ki \cdot (T_m - T_e) = 21.128 \text{ kcal/h}$$

$$q = q_a + q_{pi} = 68.820 \text{ kcal/h}$$

Caudal de vapor: $Q_{vapor} = \frac{q}{h} = 68.820 / 494,2 = 139,3 \text{ kg/h}$

Este balance es para cada uno de los tanques 1 y 2.

b) Tanques almacén de Fuel Oil Proa.

El tanque de Fuel Oil de Proa tiene unas necesidades de vapor para ambos serán las mismas.

SUPERFICIE LIMITE DEL TANQUE	SUPERFICIE ADYACENTE	Si (m ²)	Ki (kcal/m ² h° C)	Te (° C)	(Tm-Te) (°C)	Si·Ki·(Tm- Te) (kcal/h)
Mamparo de proa	Bodega	363,7	6	10	12,5	27.277,50
Mamparo de popa	Bodega	363,7	6	10	12,5	27.277,50
Lateral	Tanque lastre	61,227	8	5	17,5	8.571,78
Lateral	Tanque lastre	60,58	8	10	12,5	6.058,00
Fondo	Tanque fondo lastre	40,64	8	5	17,5	5.689,60
Techo	Pasillo	46,6	6	10	12,5	3.495,00

Calor para elevar la temperatura y compensar pérdidas:

$$q_a = 2473 \cdot 991 \cdot 0,44 \cdot (40 - 5) / 48 = 786.280 \text{ kcal/h}$$

$$q_{pi} = \Sigma Si \cdot Ki \cdot (T_m - T_e) = 78.369 \text{ kcal/h}$$

$$q = q_a + q_{pi} = 864.649 \text{ kcal/h}$$

Caudal de vapor: $Q_{\text{vapor}} = \frac{q}{h} = 864.649/494,2 = 1750 \text{ kg/h}$

➤ **Tanques de Sedimentación de H.F.O**

Se procede de manera análoga que con los tanques almacén. En este caso la temperatura se debe elevar desde los 40 °C, hasta los 70 °C, en un tiempo de 12 horas.

El tanque de sedimentación linda con el de servicio diario y con el tanque de aceite de servicios.

SUPERFICIE LIMITE DEL TANQUE	SUPERFICIE ADYACENTE	Si (m ²)	Ki (kcal/m ² h °C)	Te (° C)	(Tm-Te) (°C)	Si·Ki·(Tm- Te) (kcal/h)
Mamparo de proa	Tanque aceite servicios	18,71	4	20	35	2619,4
Mamparo de popa	S.Diario Fuel Oil	18,71	3	98	-43	-2413,6
Lateral babor	Pasillo lateral	17,388	6	5	50	5216,4
Lateral estribor	Pasillo central	17,388	5	20	35	3042,9
Fondo	Plataforma “C” CCMM	42,72	5	20	35	7476,05
Techo	Cofferdam de cubierta	42,72	6	10	45	11.534,5

Calor para elevar la temperatura y compensar pérdidas:

$$q_a = 124,5 \cdot 991 \cdot 0,44 \cdot (70 - 40) / 12 = 135.717,45 \text{ kcal/h}$$

$$q_{pi} = \sum Si \cdot Ki \cdot (Tm - Te) = 27.475,7 \text{ kcal/h}$$

$$q = q_a + q_{pi} = 163.193,11 \text{ kcal/h}$$

Caudal de vapor: $Q_{\text{vapor}} = \frac{q}{h} = 163.193,11 / 494,2 = 330,2 \text{ kg/h}$

➤ **Tanque de Servicio Diario**

El tanque de servicio diario recibe el combustible de las purificadoras a 98° C y hay que conservarlo a esta temperatura. Por consiguiente, no será necesario suministrar calor para elevar su temperatura sino sólo para mantenerla.

SUPERFICIE LIMITE DEL TANQUE	SUPERFICIE ADYACENTE	Si (m ²)	Ki (kcal/m ² h °C)	Te (° C)	(Tm-Te) (°C)	Si·Ki·(Tm-Te) (kcal/h)
Mamparo de proa	Tanque sedimentac. FO	18,71	3	55	43	2413,6
Mamparo de popa	Sedim. Diesel Oil	18,71	5	20	78	7296,9
Lateral babor	Pasillo lateral	15,46	6	5	93	8626,7
Lateral estribor	Pasillo central	15,46	5	20	78	6029,4
Fondo	Plataforma CCMM "C"	37,97	5	20	78	14.808,3
Techo	Cofferdam de cubierta	37,97	6	10	88	20.048,2

Calor para elevar la temperatura y compensar pérdidas:

$$Q_{\text{mantenimiento}} = \Sigma Si \cdot Ki \cdot (Tm - Te) = 59.223 \text{ kcal/h}$$

Caudal de vapor: $Q_{\text{vapor}} = \frac{q}{h} = 59.223 / 494,2 = 120 \text{ kg/h}$

➤ **Tanque de reboses de fuel oil.**

Este tanque tiene como misión recoger los distintos reboses que se producen en los tanques tras los retornos, así como los posibles derrames de combustible que ocurran.

Su tamaño se ha fijado en 18,7 m³, tomándose como tiempo de calefacción 2 horas.

SUPERFICIE LIMITE DEL TANQUE	SUPERFICIE ADYACENTE	Si (m ²)	Ki (kcal/m ² h° C)	Te (° C)	(Tm-Te) (°C)	Si·Ki·(Tm-Te) (kcal/h)
Mamparo de proa	Tanque derrames	3,22	4	32,5	10	128,8
Mamparo de popa	Doble fondo CM	0,63	5	5	37,5	118,125
Lateral babor	Doble fondo CM	12,76	5	5	37,5	2392,5
Lateral estribor	Agua de mar (Costado bajo flotación)	13,02	12	0	42,5	6640,2
Fondo	Agua de mar	4,57	12	0	42,5	2330,7
Techo	Cámara de máquinas	4,57	5	20	22,5	514,125

Calor para elevar la temperatura y compensar pérdidas:

$$q_a = 18,7 \cdot 991 \cdot 0,44 \cdot (65 - 20) / 2 = 183.463,8 \text{ kcal/h}$$

$$q_{pi} = \sum Si \cdot Ki \cdot (Tm - Te) = 12.124,45 \text{ kcal/h}$$

$$q = q_a + q_{pi} = 195.588,28 \text{ kcal/h}$$

Caudal de vapor: $Q_{\text{vapor}} = \frac{q}{h} = 195.588,28 / 494,2 = 395,8 \text{ kg/h}$

➤ **Tanque de lodos de las purificadoras.**

El volumen de este tanque será 57,4 m³.

SUPERFICIE LIMITE DEL TANQUE	SUPERFICIE ADYACENTE	Si (m ²)	Ki (kcal/m ² h° C)	Te (° C)	(Tm-Te) (°C)	Si·Ki·(Tm-Te) (kcal/h)
Mamparo proa de	Camara maquinas de	14,4	5	20	15	1080
Mamparo popa de	Cámara máquinas de	14,4	5	20	15	1080
Lateral	Cámara máquinas de	14,4	5	20	15	1080
Lateral	Cámara máquinas de	14,4	5	20	15	1080
Fondo	Cámara máquinas de	16	5	20	15	1080
Techo	Cámara máquinas de	16	5	20	15	1080

Calor para elevar la temperatura y compensar pérdidas:

$$q_a = 57,4 \cdot 950 \cdot 0,6 \cdot (50 - 20) / 4 = 245.385 \text{ kcal/h}$$

$$q_{pi} = \sum Si \cdot Ki \cdot (Tm - Te) = 6.480 \text{ kcal/h}$$

$$q = q_a + q_{pi} = 251.865 \text{ kcal/h}$$

Caudal de vapor: $Q_{vapor} = 251.865 / 494,2 = 509,6 \text{ kg/h}$

➤ **Tanque de derrames de aceite.**

El volumen de este tanque será 10 m³.

SUPERFICIE LIMITE DEL TANQUE	SUPERFICIE ADYACENTE	Si (m ²)	Ki (kcal/m ² h° C)	Te (° C)	(Tm-Te) (°C)	Si·Ki·(Tm- Te) (kcal/h)
Mamparo de proa	Doble fondo CM	4	5	5	27,5	550
Mamparo de popa	T.Reboses	3,22	4	42,5	-10	-128,8
Lateral babor	Doble fondo CM	5,6	5	5	27,5	770
Lateral estribor	Agua de mar (Costado bajo flotación)	8	12	0	32,5	3120
Fondo	Agua de mar	1	12	0	32,5	390
Techo	Cámara de máquinas	4,6	5	20	27,5	632,5

Calor para elevar la temperatura y compensar pérdidas:

$$q_a = 10 \cdot 900 \cdot 0,47 \cdot (45 - 20) / 2 = 52.875 \text{ kcal/h}$$

$$q_{pi} = \Sigma Si \cdot Ki \cdot (Tm - Te) = 5.333,7 \text{ kcal/h}$$

$$q = q_a + q_{pi} = 58.208,7 \text{ kcal/h}$$

Caudal de vapor: $Q_{vapor} = 58.208,7 / 494,2 = 117,78 \text{ kg/h}$

➤ **Tanque de aceite sucio.**

El volumen de este tanque será 18,7 m³.

SUPERFICIE LIMITE DEL TANQUE	SUPERFICIE ADYACENTE	Si (m ²)	Ki (kcal/m ² h° C)	Te (° C)	(Tm-Te) (°C)	Si·Ki·(Tm-Te) (kcal/h)
Mamparo de proa	Tanque reboses	3,22	4	42,5	-10	-128,8
Mamparo de popa	Doble fondo CM	0,63	5	5	27,5	86,625
Lateral estribor	Agua de mar (Costado bajo flotación)	13,02	12	0	32,5	5077,8
Lateral babor	Doble fondo CM	12,76	5	5	27,5	1754,5
Fondo	Agua de mar	4,57	12	0	32,5	1782,3
Techo	Cámara de máquinas	4,57	5	20	12,5	285,625

Calor para elevar la temperatura y compensar pérdidas:

$$q_a = 18,7 \cdot 900 \cdot 0,47 \cdot (45 - 20) / 2 = 98.876,25 \text{ kcal/h}$$

$$q_{pi} = \sum Si \cdot Ki \cdot (Tm - Te) = 8.858,05 \text{ kcal/h}$$

$$q = q_a + q_{pi} = 107.734,3 \text{ kcal/h}$$

Caudal de vapor: $Q_{vapor} = 107.734,3 / 494,2 = 218 \text{ kg/h}$

➤ **Tanque de aguas aceitosas.**

En él se recogen los derrames de las bandejas de los tanques, purificadoras, etc. su contenido, una vez lleno, se trasvasa a la separadora y desde ahí, al separador de sentinas. Se tiene un volumen de 24,7m³. Suponiendo un tiempo de calefacción de 4 horas.

SUPERFICIE LIMITE DEL TANQUE	SUPERFICIE ADYACENTE	Si (m ²)	Ki (kcal/m ² h° C)	Te (° C)	(Tm-Te) (°C)	Si·Ki·(Tm-Te) (kcal/h)
Mamparo de proa	Doble fondo CM	3,98	5	5	25	497,5
Mamparo de popa	Pique proa	3,3	5	5	25	413,3
Lateral babor	Agua de mar (costado bajo flotación)	8,228	12	0	40	3949,44
Lateral estribor	Agua de mar (costado bajo flotación)	8,228	12	0	40	3949,44
Fondo	Agua de mar	0	12	0	40	0
Techo	Cámara de máquinas	10,81	5	20	20	1081

Calor para elevar la temperatura y compensar pérdidas:

$$q_a = 24,7 \cdot 900 \cdot 0,5 \cdot (60 - 20) / 4 = 111.150 \text{ kcal/h}$$

$$q_{pi} = \Sigma Si \cdot Ki \cdot (Tm - Te) = 9.890,7 \text{ kcal/h}$$

$$q = q_a + q_{pi} = 121.040,7 \text{ kcal/h}$$

Caudal de vapor: $Q_{vapor} = 121.040,7 / 494,2 = 244,9 \text{ kg/h}$

3-Calentadores

Como norma general, el consumo de vapor se obtiene multiplicando el caudal de fluido a calentar por la diferencia de temperaturas y por un factor igual a 1,05 para tener en cuenta las pérdidas al exterior.

➤ **Calentador final de fuel oil para la inyección a quemadores.**

Teniendo en cuenta la siguiente notación:

Cm = Consumo de combustible de la caldera y auxiliares en funcionamiento, a su potencia máxima continua, en kg/h.

Cb = Caudal de la bomba de circulación de fuel, en kg/h.

Tt = Temperatura del combustible en el tanque de servicio diario, en ° C.

Te = Temperatura del fuel oil a la entrada del motor, en ° C.

Ts = Temperatura del combustible a la salida de caldera, en ° C.

El consumo horario de vapor será:

$$Q_{\text{vapor}} = 1,05 \cdot C_b \cdot c \cdot (T_e - T_b) / h \quad (\text{kg/h})$$

siendo:

c = Calor específico del fuel oil, en kcal/kg.° C.

h = Calor latente de condensación del vapor, en kcal/kg.

Y verificándose las siguientes igualdades:

$$C_s = C_b - C_m$$

$$C_m \cdot T_t + C_s \cdot T_s = C_b \cdot T_b$$

De donde se deduce que:

$$T_b = [C_m \cdot T_t + (C_b - C_m) \cdot T_s] / C_b$$

Los valores a emplear son los siguientes:

$$C_m = 6.670,3 \text{ kg/h.}$$

$$C_b = 13.874 \text{ kg/h.}$$

$$T_t = 98^\circ \text{ C}$$

$$T_e = 150^\circ \text{ C}$$

Ts = 145° C En el retorno del combustible no utilizado consideramos que se pierden 5°C.

$$c = 0,44 \text{ kcal/kg.}^\circ \text{ C}$$

La temperatura (Tb) con que entra el combustible en el calentador será pues:

$$T_b = [6.670,3 \cdot 98 + (13.874 - 6.670,3) \cdot 145] / 13.874 = 122,4^\circ \text{C}.$$

Y el consumo de vapor:

$$Q_{\text{vapor}} = 1,05 \cdot 13.874 \cdot 0,44 \cdot (150 - 122,4) / 494,2 = 357,93 \text{ kg/h}$$

➤ **Calentador de las purificadoras de fuel oil.**

Las necesidades de vapor vienen dadas por la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{vapor}} = 1,05 \cdot C_p \cdot c \cdot (T_s - T_e) / h \quad (\text{kg/h})$$

Siendo:

$C_p = 8225,3 \text{ kg/h}$, el caudal de las purificadoras.

$c = 0,44 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, el calor específico del fuel oil.

$T_e = 55^\circ \text{C}$, la temperatura del fuel en el tanque de sedimentación.

$T_s = 98^\circ \text{C}$, la temperatura del combustible a la entrada de las purificadoras.

Así pues, el caudal de vapor necesario será:

$$Q_{\text{vapor}} = 1,05 \cdot 8.225,3 \cdot 0,44 \cdot (98 - 55) / 494,2 = 330,64 \text{ kg/h}$$

➤ **Calentador sanitario de agua dulce.**

El consumo de vapor se evaluará de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Q_{\text{vapor}} = 1,05 \cdot K_p \cdot C \cdot N \cdot (T_2 - T_1) / (24 \text{ h}) \quad (\text{kg/h})$$

Siendo:

K_p = Coeficiente de consumo máximo, variable entre 2 y 4. Se tomará 3.

C = Consumo diario de agua caliente por tripulante = 125 litros.

N = Número de tripulantes = 30

$T_2 - T_1$ = Diferencia de temperaturas = $60 - 10 = 50^\circ \text{C}$.

$$Q_{\text{vapor}} = 1,05 \cdot 3 \cdot 125 \cdot 30 \cdot 50 / (24 \cdot 494,2) = 49,79 \text{ kg/h}$$

4-Servicios varios

➤ Unidad de climatización.

Como se indica en el cuaderno 10, la instalación ha de ser capaz de climatizar un caudal de aire de 400 m³ por tripulante y hora, manteniendo una temperatura en los locales destinados a la estancia de personas de 22° C. Así pues, considerando que la tripulación está compuesta por 30 personas, el caudal de aire a acondicionar es:

$$C = 400 \text{ m}^3/\text{tripulante} \cdot \text{h} \cdot 30 \text{ tripulantes} = 12.000 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Como norma general en este tipo de instalaciones, de todo el caudal de aire a climatizar, el 35% del aire es recirculado mientras que el 65% restante es aire renovado tomado del exterior. Considerando que la temperatura del aire tomado del exterior es de -5° C y que el aire recirculado llega a la unidad de climatización a 20° C, la temperatura de la mezcla de aire recirculado y aire renovado será:

$$T_m = 0,35 \cdot (-5) + 0,65 \cdot 20 = 11,25^\circ \text{ C}$$

En el climatizador se elevará la temperatura del aire desde $T_m = 11,25^\circ \text{ C}$ hasta $T_f = 25^\circ \text{ C}$, para compensar las pérdidas que se producirán en los conductos de distribución y obtener así los 22° C requeridos en las descargas de la habitación. El caudal de vapor necesario para elevar la temperatura del aire será pues:

$$Q_{\text{vapor}} = C \cdot \rho \cdot c \cdot (T_f - T_m) / h \quad (\text{kg/h})$$

siendo:

$C = 12.000 \text{ m}^3/\text{h}$, el caudal de aire a climatizar.

$\rho = 1,17 \text{ kg/m}^3$, la densidad media del aire.

$c = 0,24 \text{ kcal/kg} \cdot \text{K}$, el calor específico medio del aire.

$$Q_{\text{vapor}} = 12000 \cdot 1,17 \cdot 0,24 \cdot (25 - 11,25) / 494,2 = 93,75 \text{ kg/h}$$

➤ **Servicios fonda y hotel.**

El consumo de vapor para este servicio (cocinas, lavandería, etc.) se puede estimar de forma aproximada mediante la siguiente expresión:

$$Q_{\text{vapor}} = 0,75 \cdot N \quad (\text{kg/h})$$

Siendo N el número de tripulantes. Así pues:

$$Q_{\text{vapor}} = 0,75 \cdot 30 = 22,5 \quad \text{kg/h}$$

➤ **Filtro de combustible y tubería seguidora de líneas de combustible.**

Para estos servicios se considerará un consumo igual al 20 % del correspondiente al calentador final de fuel oil para inyección a quemador, calculado anteriormente.

$$Q_{\text{vapor}} = 0,2 \cdot 370 = 74 \quad \text{kg/h}$$

➤ **Pérdidas del sistema.**

Las pérdidas del sistema se estiman en un 5 por mil de la producción total de las calderas expresada en toneladas/hora.

BALANCE DE VAPOR EN CONDICIONES DE OPERACIÓN

A continuación se resume el balance de vapor efectuado para nuestro buque en condiciones de operación; analizando las condiciones de navegación y puerto.

En todos estos valores, están considerados los consumos en las condiciones más adversas. Dado que es muy improbable que las situaciones más adversas se den para todos los consumidores y que todos los consumidores actúen a la vez, se impone racionalizar las calderas, tanto de gases de escape como de mecheros, con valores similares de la base de datos.

BALANCE DE VAPOR

Servicio	Nº de unidad	Nº unid. Serv.	C.aportado unid (kcal/h)	C.perdidas unid.(kcal/h)	C.aportado (kcal/h)	C.perdida (kcal/h)	CALOR TOTAL (kcal/h)	CAUDAL VAPOR (kg/h)
Turbina de vapor	1	1	12.660.287	379.809	12.660.287	379.809	13.040.096	62.653,6
T. Almacén FO	3	2	68.820	21.128	137.640	42.256	179.896	364,1
T. Sedimentación FO	1	1	135.717	27.476	135.717	27.476	163.193	330,2
T.Servicio diario FO	1	1					59.223	119,8
T.Reboses FO	1	1	183.464	12.124	183.464	12.124	195.588	395,8
T.Lodos Purif. FO	1	1	245.385	6.480	245.385	6.480	251.865	509,6
T.Derrames Aceite	1	1	52.875	5.334	52.875	5.334	58.209	117,8
T.Aceite sucio	1	1	98.876	8.858	98.876	8.858	107.734	218,0
T.Aguas Aceitosas	1	1	111.150	9.891	111.150	9.891	121.041	244,9
Calentador FO	1	1	*	*	*	*	176.889	357,9
Calentador Purif. FO	1	1	*	*	*	*	163.402	330,6
Calentador Purif. Aceite	1	1	*	*	*	*	86.945	175,9
Calent. Agua dulce sanit.	1	1	*	*	*	*	24.661	49,9
Unidad de climatización	1	1	*	*	*	*	46.331	93,8
Servicio Doméstico	1	1	*	*	*	*	11.120	22,5
Filtro de combustible	1	1	*	*	*	*	36.571	74,0
Generador de agua dulce	1	1	*	*	*	*	741.300	1.500,0
Perdidas del sistema	*	*	*	*	*	*		

NAVEGACION							
Servicio	Coeficiente de serv. Ks	C.aportado unid (kcal/h)	C.perdidas unid.(kcal/h)	C.aportado (kcal/h)	C.perdida (kcal/h)	CALOR TOTAL (kcal/h)	CAUDAL VAPOR (kg/h)
Turbina de vapor	1	12.660,287	0	12.660,287	0	12.660,287	60,828,7
T. Almacén FO	2	68,820	21,128	137,640	42,256	179,896	364,1
T. Sedimentación FO	1	135717,45	27475,7	135717,45	27475,7	163193,15	330,22
T.Servicio diario FO	1	*	*	*	*	59223	119,84
T.Reboses FO	0,5	183463,8	12124,45	91731,9	6062,225	97794,13	197,88
T.Lodos Purif. FO	0,2	245385	6480	49077	1296	50373,00	101,93
T.Derrames Aceite	0,2	52875	5333,7	10575	1066,74	11641,74	23,56
T.Aceite sucio	0,2	98876,25	8858,05	19775,25	1771,61	21546,86	43,60
T.Aguas Aceitosas	0,5	111150	9890,7	55575	4945,35	60520,35	122,46
Calentador FO	1	*	*	*	*	176889,01	357,93
Calentador Purif. FO	1	*	*	*	*	163402,29	330,64
Calentador Purif. Aceite	1	*	*	*	*	86944,61	175,93
Calent. Agua dulce sanit.	1	*	*	*	*	24660,58	49,90
Unidad de climatización	1	*	*	*	*	46331,25	93,75
Servicio Doméstico	1	*	*	*	*	11119,50	22,50

Filtro de combustible	1	*	*	*	*	36570,80	74,00
Generador de agua dulce	0	*	*	*	*	0,00	0,00
Perdidas del sistema		*	*	*	*	5930,40	12,00
TOTAL						13.832.126	63.200

PUERTO							
Servicio	Coeficiente de serv. Ks	C.aportado (kcal/h)	C.perdida (kcal/h)	C.aportado (kcal/h)	C.perdida (kcal/h)	CALOR TOTAL (kcal/h)	CAUDAL VAPOR (kg/h)
Turbina de vapor	1	12.660.287	379.809	12.660.287	379.809	13.040.096	62.653,61
T. Almacén FO	2	68.820	21.128	137.640	42.256	179.896	364,1
T. Sedimentación FO	0,5	135.717	27.476	67.859	13.738	81.597	165,11
T.Servicio diario FO	0,5	*	*	*	*	59.223	119,84
T.Reboses FO	0	183.464	12.124	0	0	0	0,00
T.Lodos Purif. FO	0,5	245.385	6.480	122.693	3.240	125.933	254,82
T.Derrames Aceite	0,5	52.875	5.334	26.438	2.667	29.104	58,89
T.Aceite sucio	0,5	98.876	8.858	49.438	4.429	53.867	109,00
T.Aguas Aceitosas	0,5	111.150	9.891	55.575	4.945	60.520	122,46
Calentador FO	0,2	*	*	*	*	176.889	357,93
Calentador Purif. Aceite	0,2	*	*	*	*	163.402	330,64
Calentador Purif. FO	0,2	*	*	*	*	86.945	175,93
Calent. Agua dulce sanit.	1	*	*	*	*	24.661	49,90

Unidad de climatización	1	*	*	*	*	46.331	93,75
Servicio Doméstico	1	*	*	*	*	11.120	22,50
Filtro de combustible	0,2	*	*	*	*	36.571	74,00
Generador de agua dulce	0,5	*	*	*	*	741.300	1.500,00
Perdidas del sistema		*	*	*	*	6.178	12,50
TOTAL						14.899.433	66.416

*GENERACIÓN DE VAPOR***Caldera Principal**

Se va a instalar una caldera con los siguientes parámetros de diseño:

CALDERA MITSUBISHI MB-4E	
Tipo	Dos colectores, tubos de agua, quemadores en techo
Evaporación Máxima	65.000 kg/h
Evaporación normal	50.000 kg/h
Condiciones de vapor	Vapor sobrecalentado a 515 °C y 61,8 kg/cm ²
Consumo Fuel Oil	4.100 kg/h a evaporación normal
Consumo de gas	3.300 kg/h a evaporación normal
N° de quemadores	3

Tarado de válvulas de seguridad	
Presión colector superior	78 kg/cm ²
Presión colector inferior	77,5 kg/cm ²
Sobrecalentador	63,3 kg/cm ²
Economizador	97,5 kg/cm ²

Parámetros de Operación	
Control Fuel Oil	0,262 Tn/h
Control Aire	47,6%
Control Gas	2.328 Tn/h
Presión en colector de vapor	63 bar
Presión cámara de circulación quemador FO	6,7 bar
Presión cámara de circulación Boil Off	504 mbar
Presión vapor atomizado	7 bar
Presión en descarga ventilador	400 mbar
Presión en el Hogar	86 mbar
Temperatura descarga economizador	203°C

Temperatura calentador quemador FO	118°C
Temperatura calentador Boil Off	30°C
Temperatura entrada calentador de aire	45°C
Temperatura salida calentador de aire	115°C
Temperatura gases economizador	147°C
Contenido O ₂	2,8%
Descarga caldera	96-97%

La caldera está construida con dos colectores, con un colector de vapor, un colector de agua. También cuenta con la propia caldera, la carcasa de la caldera, sobrecalentador, economizador, calentador de aire, equipamiento de quemado de fuel oil y gas y todos los elementos necesarios de ajuste.

El sistema consiste en dos colectores, uno de agua y otro de vapor, conectados por una serie de tubos de generación. La caldera también cuenta con:

- ✓ Pared frontal de tubos que cubren los elementos del sobrecalentador del calor radiado del hogar.
- ✓ Paredes en los lados y en el techo de tubos agua.
- ✓ Tubos de descenso de agua.
- ✓ Cámara de circulación inferior.
- ✓ Techo y suelo de la cámara de circulación de la pared frontal.
- ✓ Techo y suelo de la cámara de circulación de la pared trasera.
- ✓ Tubos de descenso delanteros y traseros.

Los tubos en el suelo del hogar, lados y techo, y paredes delantera y trasera son de tipo membrana. Cada tubo lleva un aleta soldada a sus extremos, de esta forma se crea una pared de membrana de tubos. El suelo, los lados y el techo están cubiertos por este tipo de pared de tubos.

Esto genera un sello hermético al gas en torno a los tres lados del hogar y previene los goteos de gas en la carcasa.

Los principales componentes en la construcción de la caldera son el sobrecalentador, el desrecalentador interno en el colector de vapor, el economizador, el calentador de aire y la carcasa.

El colector de vapor está formado por el desrecalentador, línea de soplado superficial, tubería de alimentación interna, línea de alimentación química, regulador de vapor y caja de secado.

El vapor generado en los tubos de la caldera entra en el colector de vapor, el cual es forzado a pasar por el regulador de vapor situado en el nivel normal de vapor antes de pasar a la parte superior del colector. El regulador de vapor está instalado para reducir el oleaje formado por una brusca vaporización, cambios de carga o movimientos del barco. Antes de descargar, el vapor pasa por la caja de secado. Aquí se separan las partículas grandes de agua del vapor para reducir el traslado de agua por el vapor. En la parte inferior del colector, por debajo del nivel normal de agua está colocado el desrecalentador de vapor. El vapor sobrecalentado pasa por estos tubos, por lo cual pierde temperatura y se la cede al agua.

El colector de agua situado en la parte inferior de la caldera está equipado con un desrecalentador de tubos a través del cual se hace pasar el vapor sobrecalentado para controlar la temperatura final de este.

Los dos colectores cuentan con dispositivos que permiten la entrada en los mismos por razones de mantenimiento.

Los tubos que forman las paredes de membrana que forran el hogar son de 63,5 mm de diámetro en el suelo y techo, mientras que los tubos de los costados son de 50,8 mm. Los tubos de descenso de agua están colocados por fuera de la carcasa y suministran una circulación de agua desde el colector superior de vapor hasta el colector inferior de agua, cámara de circulación inferior y las cámaras de circulación anterior y posterior de agua. Todas las tuberías cuentan con dispositivos que permiten la expansión de los elementos. La carcasa de la caldera está construida con planchas de acero corrugado.

El sobrecalentador es de tipo vertical y de convección. Esta formado por grupos de seis elementos en forma de hélice, los cuales su entrada y salida están conectadas a las cámaras de circulación. Los tubos del sobrecalentador son paralelos a los tubos de generación de vapor. Una aleta conecta los tubos de generación con los del sobrecalentador para mantener el alineamiento de estos.

El economizador esta situado en la salida de los gases de la caldera. Esta formado por tubos de 50,8 mm de diámetro que forman un a hélice. Por estos tubos corre el agua con la que se va a alimentar a la caldera. Todo el sistema esta cerrado por una carcasa metálica para aislar térmicamente y acústicamente el sistema.

La caldera cuenta con ventiladores que suministran aire a la caldera. Estos ventiladores son los siguientes:

Ventiladores de tiro forzado
Flujo aire 1.220 m ³ /min
Accionamiento 144 kW a 1.170 rpm

Estos ventiladores están colocados en la cubierta situada a 21,3 m sobre la línea base. El control del funcionamiento de los ventiladores lo lleva a cabo el sistema IAS.

El aire de alimentación es calentado por calentadores de vapor. Cuando la presión no es suficiente se alimenta con vapor del sistema de vapor desrecalentado a 2,7 kg/cm², que suele ser en la puesta en funcionamiento de las calderas.

Existen dos ventiladores de aire de sellado, uno para cada caldera que suministran aire para sello y refrigeración de las mirillas de los quemadores. La presión que tienen que generar tiene que ser superior a 3,5 kPa.

Las calderas cuentan con sopladores de hollín, uno en los tubos de la caldera retractable, dos en el sobrecalentador de rotación estática y cuatro de rotación estacionaria en el economizador. Se utilizada vapor a 60 kg/cm² para realizar el soplado. Este soplado es controlado por el sistema IAS.

En el siguiente esquema se puede ver el proceso que sigue la caldera cuando es puesta en funcionamiento hasta que coge la presión de funcionamiento:

El sistema de alimentación de gas de boil-off se explicara con detalle en el cuaderno de equipos y servicios.

5. Caldera auxiliar de mecheros

Según se muestra en los cálculos del balance de vapor, la planta generadora de vapor estará formada por una caldera principal y una caldera auxiliar de mecheros.

La caldera auxiliar de mecheros será capaz de producir 5.000 Kg·h⁻¹ de vapor saturado a 7 kg·cm⁻² con lo que se cubren las necesidades de vapor para la situación de descarga.

6. Bombas de alimentación calderas

➤ **Bombas de la caldera principal**

Se instalarán dos bombas de alimentación cada una de ellas capaz de dar el máximo caudal necesario, con un incremento de presión de 62 bar. El consumo de estas bombas será de:

$$P = \frac{65 \cdot 62 \cdot 10^5}{3600 \cdot 0,9} = 124 kW$$

➤ **Bombas de la caldera auxiliar de mecheros**

Para la alimentación de agua de las calderas de vapor que accionan los servicios de vapor en puerto, se montarán 2 bombas (una de ellas será de reserva), capaces cada una de ellas de dar el 100 % del máximo caudal necesario de la caldera, con un incremento de presión de 9 bar. La potencia absorbida por cada bomba será:

$$P_{C.MECHEROS} = \frac{5 \cdot 9 \cdot 10^5}{3600 \cdot 0,9} = 1,4 kW$$

Se dispondrá para la caldera un sistema de control de combustión automático. El sistema de control regulará el suministro de aire y combustible del quemador, de acuerdo con la presión de la caldera. Se estima el consumo de este sistema en 2 Kw.

La caldera estará equipada con un regulador de agua de alimentación de tipo modulado. El regulador vendrá gobernado por el nivel de agua de la caldera que actuará sobre la válvula de agua de alimentación instalada en la línea de alimentación principal.

PROYECTO FIN DE CARRERA N° 1564

LNG MEMBRANA 51.000 m³

CUADERNO 8

PESO EN ROSCA



ENRIQUE DOPICO

TUTOR: Dn SEBASTIAN ABRIL PÉREZ

1.	INTRODUCCIÓN	4
2.	PESO DE ACERO	4
	PESO DEL ACERO LONGITUDINAL.....	4
	PESO DEL ACERO TRANSVERSAL	6
	MAMPAROS TRANSVERSALES.....	7
	PESO DE LOS RASELES	8
	PESO DE TANQUES Y PLATAFORMAS EN CÁMARA DE MAQUINAS	9
	PESO DE LOS REFUERZOS ESTRUCTURALES EN CÁMARA DE MÁQUINAS	9
	PESO DEL CODASTE	10
	PESO DE LA CHIMENEA Y GUARDACALOR	11
	PESO DE LA AMURADA	11
	PESO DE LA CUBIERTA DEL CASTILLO.....	13
	PESO DE ACERO	13
3.	PESO DE SOLDADURA	14
4.	PESO DE LA MAQUINARIA	14
5.	PESO DEL EQUIPO Y LA HABILITACIÓN.....	15
	PESO DEL EQUIPO DE FONDEO Y AMARRE DE PROA	15
	PESO DEL EQUIPO DE FONDEO Y AMARRE DE POPA.....	16
	PESO DEL EQUIPO DE NAVEGACIÓN	16
	PESO DEL EQUIPO DE GOBIERNO.....	17
	PESO DEL EQUIPO DE SALVAMENTO	17
	PESO DEL EQUIPO CONTRA INCENDIOS	18
	PESO DEL SISTEMA DE CARGA	18
	Peso de los domos y torres de tanques.....	18
	Pesos de las bombas.....	19
	Pesos del sistema de gas inerte	19
	Pesos de tuberías de cubierta y manifolds	20
	Pesos de equipos grúas de cubierta.....	20
	PESO DE RESPETOS	21
	PESO DE ESCALERAS, PUERTAS, PORTILLOS Y VENTANAS	21
	PESO DE LA PINTURA DEL BUQUE.....	22
	PESO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	22
	PESO DEL EQUIPO Y HABILITACIÓN	23

6. PESO EN ROSCA	24
------------------------	----

1. INTRODUCCIÓN

La determinación del peso en rosca sólo puede realizarse de forma estimativa, siendo su valor real conocido durante la experiencia de estabilidad del buque. Por este motivo, el peso en rosca se dividirá en tres partidas:

- Peso de acero.
- Peso de la maquinaria.
- peso del equipo y la habitación.

El peso de la maquinaria, el peso del equipo y la habitación quedan bastante definidos en base a los datos determinados durante el desarrollo del proyecto o bien por extrapolación de datos de otros buques. Cada una de estas partidas se desglosará en cada uno de sus elementos, indicándose la posición del centro de gravedad de cada uno.

La determinación del peso de acero resulta más complicada ya que el desconocimiento de las regiones de proa y popa, en lo que a su estructura se refiere, conlleva realizar estimaciones basadas en los datos de buques que pueden introducir errores en el resultado final

En este cuaderno se determinarán los dichos pesos desglosados y se hallará del peso en rosca la posición de su centro de gravedad así como su valor que será utilizada en etapas posteriores del proyecto.

2. PESO DE ACERO

PESO DEL ACERO LONGITUDINAL

Siguiendo el método de Lloyd's Register of Shipping:

$$P_{li} = E_i^m$$

- P_{li} = Ordenada adimensionalizada de la curva de la sección “i”.
- E_i = Relación entre el perímetro de la sección “i” con el perímetro de la sección maestra correspondiente a la mitad del buque (sección 10 de las 20).
- m = Exponente que se obtiene de una tabla.

Se acepta que en todas las secciones excepto en los piques y la cámara de máquinas la relación entre la altura del centro de gravedad del material longitudinal continuo K_{gi} y la del centro de gravedad del perímetro considerado es constante.

Para calcular el centro de gravedad vertical de las secciones utilizamos el de la cuaderna maestra, que ya se conoce al haberse analizado en el cuaderno 5.

Así, en la sección “i” se verifica:

$$K_{gi} = Z_{gi} \cdot K_{gm} / Z_{gm}$$

En las secciones de la cámara de máquinas y de los piques se considera $K_{gi} = Z_{gi}$.

Los datos del cuaderno 5 permiten afirmar:

$$K_{gm} = 10.786 \text{ m}$$

$$\text{Área de la maestra (} A_m \text{)} = 4.757 \text{ m}^2$$

La densidad del acero se toma como 7.85 t/m³ y de esta forma podemos hallar el peso por unidad de longitud de la cuaderna maestra.

$$P_m = 7,85 \cdot A_m = 37.34 \text{ t/m}$$

Poniendo en práctica el método obtenemos los resultados (En el anexo aparecen los resultados desglosados).

Acero longitudinal	
Xg (m)	133.1
Zg (m)	11.0
PESO (t)	4370

Los valores de las abscisas se toman desde la perpendicular de popa, y las distancias verticales desde la línea de base, esta referencia se utilizará para todos los cálculos del cuaderno.

PESO DEL ACERO TRANSVERSAL

El proceso es similar y se calcula el peso de acero transversal por medio de la siguiente ecuación:

$$P_{ti} = E_i^p$$

- P_{ti} = Ordenada adimensionalizada de la curva de sección i
- E_i = Relación entre el área de la sección i con la de la cuaderna maestra.
- p = Exponente que se obtiene de una tabla.

Expresamos el valor del peso por unidad de longitud de la sección i .

En todas las secciones incluidas la maestra, la relación entre la altura del centro de gravedad del material transversal continuo, K_{gi} y la del centro de gravedad del perímetro considerado Z_{gi} se mantiene constante.

Conociendo la altura del centro de gravedad del material transversal en la cuaderna maestra K_{gm} , en la sección podremos conocer el valor del centro de gravedad vertical de la sección considerada.

$$K_{gi} = Z_{gi} \cdot K_{gm} / Z_{gm}$$

Los datos en la sección maestra de la estructura transversal son los siguientes:

$$P/m = 17.12 \text{ t/m}$$

$$K_g = 6.0 \text{ m}$$

Los resultados finales se exponen en la siguiente tabla. Para ver resultados parciales consultar el anexo.

ACERO TRANSVERSAL	
Xg (m)	129.4
Zg (m)	6.8
PESO (t)	2100

MAMPAROS TRANSVERSALES

Para el cálculo de peso de los mamparos transversales se utiliza la siguiente expresión:

$$P = a \cdot B^b \cdot D^c \cdot \Sigma R^4$$

B: Manga de trazado

D: Puntal de trazado

R: Relación entre el área de los mamparos con el área de la cuaderna maestra.

a: 0.0227

b: 1.2

c: 1.6

d: 1.

Los mamparos considerados son:

- Mamparo de pique de proa.
- Mamparo de cámara de máquinas.
- Mamparo tanque LNG n° 1.
- Mamparo tanque LNG n° 2.
- Mamparo tanque LNG n° 3.
- Mamparo tanque LNG n° 4.
- Mamparo de pique de proa..

Los resultados se expresan en la siguiente tabla, para ver los resultados parciales consultar el anexo.

MAMPAROS	
Xg (m)	5.0
Zg (m)	113.4
PESO (t)	1583

PESO DE LOS RASELES

Se utiliza la siguiente fórmula propuesta por el L.R.S.

$$P = 0,071 \cdot V$$

- V :Volumen del rasel correspondiente

PESO DE LOS RASELES	xg (m)	zg (m)	v (m3)
Rasel de popa	4.0	7	2984
Rasel de proa	197.6	8	929

PESO (t)	
168.3	
Xg	Zg

50.0	7.8
------	-----

PESO DE TANQUES Y PLATAFORMAS EN CÁMARA DE MAQUINAS

Por medio de datos obtenidos de otros buques el peso y la posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
106	
Xg	Zg
37.0	4.0

PESO DE LOS REFUERZOS ESTRUCTURALES EN CÁMARA DE MÁQUINAS

Se estima con la siguiente fórmula propuesta por el L.R.S.:

$$P = 0,0254 \cdot V$$

- V : Volumen de la cámara de máquinas, 8653 m³

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
105.7	
Xg	Zg
37.0	4.0

PESO DEL CODASTE

El peso del codaste se halla con la siguiente ecuación:

$$P = 11,852 \cdot T$$

- T es el calado del buque: 9.48 m.

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO(t)	
113	
Xg	Zg
0.0	4.0

PESO DE LA SUPERESTRUCTURA

El peso de la superestructura se halla con la siguiente ecuación:

$$P = 0,045 V$$

- V = Volumen superestructura = 5000 m³.

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO(t)	
225	
Xg	Zg
44.0	21.0

PESO DE LA CHIMENEA Y GUARDACALOR

Suponiendo un espesor de 12 mm , calculamos su área y la multiplicamos por este espesor, para después con la densidad del acero calcular su peso.

- $A = 96 \text{ m}^2$
- $t = 12 \text{ mm}$
-

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO(t)	
88	
Xg	Zg
23.2	21.0

PESO DE LA AMURADA

Sabiendo el espesor y el área de la amurada, calculamos el peso de esta:

$$P = V \cdot 7.85$$

$$V = A \cdot t$$

- A : Área de la amurada : 264.16 m
- t : Espesor de la amurada : 18 mm

El peso de los refuerzos de la amurada se estima en el 25 % de esta, quedando que:

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (T)	
218.1	
Xg (m)	Zg (m)
195	20

PESO DE LA CUBIERTA DEL CASTILLO

Con la base de datos se obtiene que el peso por unidad de longitud es:

$$P_m = 0.235 \text{ Tm/m}^2$$

Multiplicando el área (580 m²) de la cubierta del castillo por el valor anterior obtenemos el peso.

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
73	
Xg (m)	Zg (m)
195	20

PESO DE ACERO

Recopilando todos los resultados anteriores se puede consultar el peso de acero en la siguiente tabla:

ACERO	
Xg (m)	110.8
Zg (m)	8.5
PESO (t)	10320

3. PESO DE SOLDADURA

Tomando un margen por soldadura y laminación del 5% del peso total, el resultado del peso y situación de ésta soldadura es el siguiente:

$$P_{\text{soldadura}} = 0,05 (\text{Pacero longitudinal} + \text{Pacero transversal} + \text{Acero}) = 516 \text{ t}$$

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

P(t)	Xg(m)	Zg(m)
516	110.8	516

4. PESO DE LA MAQUINARIA

A continuación se exponen los pesos de la maquinaria

EQUIPO	PESO (KG)
Turbina de alta presión	16450
Turbina de Baja Presión	22050
Reductora	91000
Caldera Principal	124880
Generador Diesel	49000
Unidad secadora de gas inerte	19600
Eje Intermedio	33250
Eje de cola	27230
Unidad refrigeración de gas inerte	8400
Servo timón	14490
Unidad hidráulica servomotor	6041
Unidad generadora de gas inerte	7490
Incinerador	2530.5
Tanque desaireación	11200

Generador de agua dulce	4100
Turbo bomba	4900
Generador de N2	1300
Unidad de potencia maquinaria cubierta	2940
Bomba auxiliar de agua	1159.2
Calentador baja presión	3220
Desengrasador	742
Silenciador	868
Sellado condensador	1715
Bomba auxiliar aceite lubricante	1450
Bomba principal circulación	5150

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

P(t)	Xg(m)	Zg(m)
586	37.5	5.0

5. PESO DEL EQUIPO Y LA HABILITACIÓN

PESO DEL EQUIPO DE FONDEO Y AMARRE DE PROA

Por medio del numeral de equipo entramos en la gráfica de la página 68 del libro de D. Manuel Meizoso Fernández y J.L García Garcés .

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
330	
Xg (m)	Zg (m)
205.2	25

PESO DEL EQUIPO DE FONDEO Y AMARRE DE POPA

En esta partida se incluye el peso de las anclas, cadenas, estachas, molinetes y bitas. El peso viene dado por la fórmula propuesta por el Lloyd's:

$$P = 0,0004\Delta.$$

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
286	
Xg (m)	Zg (m)
0.0	16.0

PESO DEL EQUIPO DE NAVEGACIÓN

Se toma siguiendo la recomendación del trabajo “Ecuación del Desplazamiento. Peso en rosca y peso muerto” de D. Manuel Meizoso y D. José Luis García Garcés. El centro de gravedad se toma en el centro geométrico del puente:

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
286	
Xg (m)	Zg (m)
0.0	16.0

PESO DEL EQUIPO DE GOBIERNO

Para el cálculo del equipo de gobierno se utiliza la siguiente expresión:

$$P = 0,0224 \cdot A \cdot V^{3/2} + 2$$

$$A = \text{Área del timón} = 38,9\text{m}^2$$

$$V = 17,5 \text{ nudos}$$

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
395	
Xg (m)	Zg (m)
0.0	6

PESO DEL EQUIPO DE SALVAMENTO

Se calcula con la siguiente expresión el peso del equipo de salvamento:

$$P = 9,5 + (n-35) \cdot 0,1$$

N es el número mayor entre las personas a bordo o 35, en este caso 35. La posición del centro de gravedad se obtiene a partir de la base de datos.

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
10	
Xg (m)	Zg (m)
5.8	16.0

PESO DEL EQUIPO CONTRAINCENDIOS

El peso del equipo contraincendios se calcula con la siguiente expresión:

$$P = 0,0025 \cdot VBM + 1$$

$VBM = 8653\text{m}^3$, el volumen de la cámara de máquinas.

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
23	
Xg (m)	Zg (m)
140	4

*PESO DEL SISTEMA DE CARGA***Peso de los domos y torres de tanques**

Se calcula a partir de los datos de buques.

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
138	
Xg (m)	Zg (m)
142.5	19.0

Pesos de las bombas

Los pesos de las bombas se calculan a partir de la siguiente expresión:

$$P = a + b (D + 1.25 - df - 10)$$

Con:

a: 0.95

b: 0.045

df: Altura de doble fondo (2m)

Se ha considerado un peso por bomba de 2.53 t (en caso de ser de 700 m³/h) y para las otras cuatro de menor caudal (25 m³/h) un computo total de 2.53 t.

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
22	
Xg (m)	Zg (m)
105	5

Pesos del sistema de gas inerte

Los pesos del sistema de gas inerte se calculan a partir de la siguiente expresión:

$$P = (a \cdot Q / 1000) + b$$

a: 0.9833

b: 2.059

Q: Capacidad de instalación de gas inerte, 15000 m³/h

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
9.9	
Xg (m)	Zg (m)
46	19

Pesos de tuberías de cubierta y manifolds

Para la estimación de pesos de las tuberías de carga de cubierta se utiliza la siguiente expresión:

$$P = a \cdot L \cdot d$$

L y d son respectivamente la longitud y diámetro de las tuberías y a vale 0.1753

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
120	
Xg (m)	Zg (m)
160	25

Pesos de equipos grúas de cubierta

Se disponen de cuatro grúas en cubierta de 100 t de peso.

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
100	
Xg (m)	Zg (m)
135	28

Pesos del aislamiento

Se calcula por aproximación a otros buques existentes, tomando como referencias dos buques, uno de 170.000 m³ que tiene un peso de aislamiento de 4000 Mt (1.3 Tn por m²), y otro de 138.000 m³, con 3000 Tn de aislamiento (1.12 Tn /m²). Extrapolando se obtiene un peso aproximado de 1.100 Tn.

PESO (t)	
1100	
Xg (m)	Zg (m)
133	5

PESO DE RESPETOS

El peso de los respetos se calcula a partir de la base de datos.

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
35	
Xg (m)	Zg (m)
160	15

PESO DE ESCALERAS, PUERTAS, PORTILLOS Y VENTANAS

El peso se calcula a partir de la base de datos.

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
24	
Xg (m)	Zg (m)
160	19

PESO DE LA PINTURA DEL BUQUE

Se calcula en función del peso total del acero, PS, mediante la expresión:

$$P = 0,007 \cdot PS$$

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla.

PESO (t)	
76	
Xg (m)	Zg (m)
160	7

PESO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = 0,0008 \cdot S_m$$

S_m = Superficie mojada del casco 8268 m².

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla

PESO (t)	
7	
Xg (m)	Zg (m)
140	4

PESO DE LA HABILITACIÓN

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = 0,16 A$$

A es el área total de alojamientos, 1133 m²

La posición del centro de gravedad se muestra en la siguiente tabla

PESO (t)	
181	
Xg (m)	Zg (m)
35	25

PESO DEL EQUIPO Y HABILITACIÓN

Tras todos los estudios parciales, el peso del equipo y de la habitación y su posición se pueden consultar en la siguiente tabla.

EQUIPO Y HABILITACIÓN	
Xg (m)	134.9
Zg (m)	20.5
PESO (t)	1227

6. PESO EN ROSCA

Tras determinar el peso del acero, de la soldadura, de la maquinaria y del equipo y habilitación, los resultados del peso en rosca se pueden consultar en la siguiente tabla.

TOTAL DE PESOS	
Xg (m)	109.7
Zg (m)	9.5
PESO (t)	13749

PROYECTO FIN DE CARRERA N° 1564

LNG MEMBRANA 51.000 m³

CUADERNO 9

SITUACIONES DE CARGA Y RESISTENCIA
LONGITUDINAL



ENRIQUE DOPICO

TUTOR: Dn SEBASTIAN ABRIL PÉREZ

1. INTRODUCCION	2
2. SITUACIONES DE CARGA	3
3. CRITERIOS DE ESTABILIDAD	5
Estabilidad Estática y Dinámica. Buque intacto	5
4. RESULTADOS DE ESTABILIDAD ESTATICA Y DINAMICA	8
Condición de carga 1	9
Condición de carga 2	14
Condición de carga 3	19
Condición de carga 4	24
5. RESISTENCIA LONGITUDINAL	29
6. ESTABILIDAD EN AVERIAS	37

1. INTRODUCCION

El objeto del presente documento es analizar el comportamiento del buque ante diferentes situaciones de carga a las que, con cierta probabilidad, pueda estar sometido un buque de sus características. Para ello se ha estudiado la estabilidad del buque y su resistencia longitudinal en diferentes situaciones de carga, verificando, en cada una de ellas, que la respuesta del buque es adecuada, de acuerdo con los criterios que más adelante se especificarán y recogidos por IMO.

Se ha realizado también un estudio de la estabilidad del buque en diversas situaciones de avería, siguiendo para ello, los criterios establecidos también en SOLAS.

Los cálculos de estabilidad se han realizado con el módulo de HIDROMAX del sistema MAXSURF.

2. SITUACIONES DE CARGA

Las situaciones de carga sujetas a estudio responden a las exigencias recogidas en la resolución A.749(18) “Código de estabilidad sin avería para todos los buques regidos por los instrumentos de la OMI”.

Las condiciones de carga que deberán estudiarse son las siguientes:

- Buque en condición de salida a plena carga al calado de proyecto ($T = 9.5\text{m}$). La carga se supone distribuida de forma homogénea en todos los espacios de carga y con el 100% de consumos.
- Buque en condición de llegada a plena carga al calado de proyecto ($T = 9.5\text{m}$). La carga se supone distribuida de forma homogénea en todos los espacios y con el 10% de consumos.
- Buque en condición de salida en lastre, sin carga, y con el 100% de consumos.
- Buque en condición de llegada en lastre, sin carga, y con el 10% de consumos.

2.1 CONDICIONES LIMITE DE NAVEGABILIDAD.

Hay una serie de limitaciones para todas las condiciones de carga que han de cumplirse y son:

- Calado máximo (calado de francobordo de verano) de 9,5m.
- Es conveniente que exista un calado mínimo a popa que asegure una inmersión de la hélice para que trabaje en buenas condiciones. El valor del diámetro de la hélice es de 6,6 m , con lo que perseguimos: $T_{pp} > 6,6\text{ m}$.

- El calado a proa debe ser tal que permita una inmersión suficiente (se considera suficiente una inmersión del 70%) del bulbo de proa. Como con un calado de 7,85 m queda totalmente hundido, el calado mínimo en proa será de $T_{pr} = 5,495$ m.
- El trimado máximo no podrá ser nunca superior al 1,5 % de la eslora entre perpendiculares por lo que este límite queda; Trimado < 3,09 m.

El lastrado del buque se realiza de forma que cumpla con las exigencias, y en los siguientes apartados se comprueba la estabilidad y las limitaciones de resistencia longitudinal.

3. CRITERIOS DE ESTABILIDAD

Estabilidad Estática y Dinámica. Buque intacto

El buque de proyecto ha de cumplir con los criterios de estabilidad establecidos por el I.M.O. A continuación se resumen los principios que rigen dichos criterios:

A - El área por debajo de la curva GZ (curva de brazos adrizantes; $GZ=KN-KG \cdot \sin\theta$, siendo θ el ángulo de escora) hasta 30° no debe ser inferior a $0,055 \text{ m} \cdot \text{rad}$.

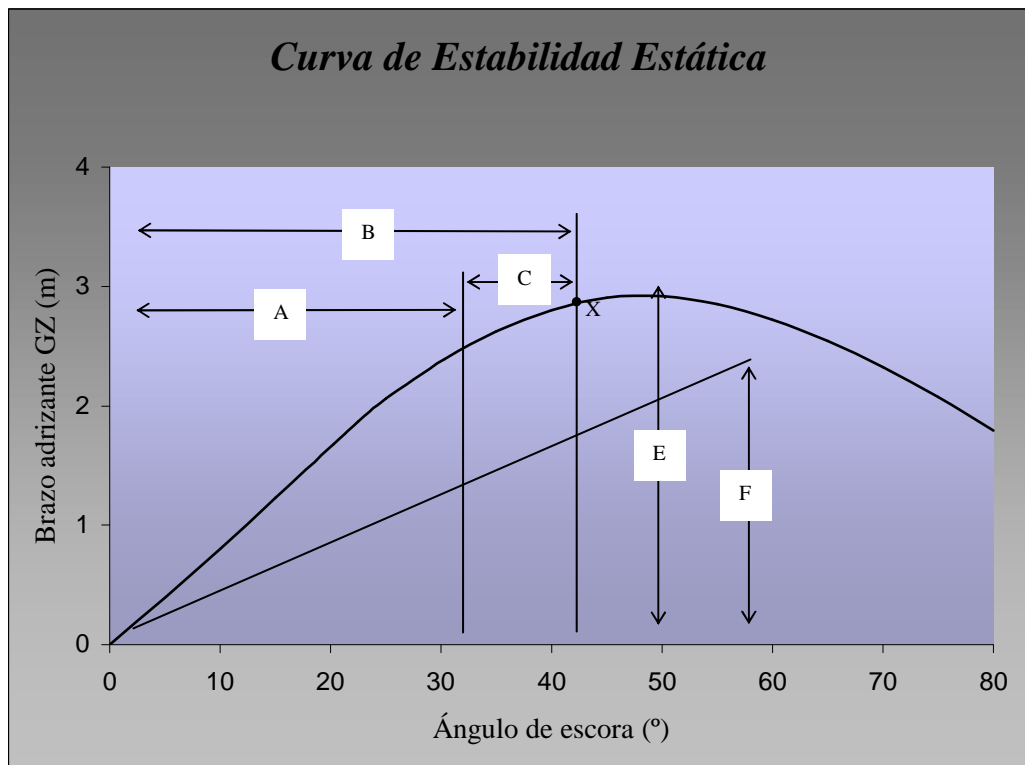
B - El área por debajo de la curva GZ hasta (X) grados no será inferior a $0,09 \text{ m} \cdot \text{rad}$.

C - El área por debajo de la curva comprendida entre 30 y (X) grados no será inferior a $0,03 \text{ m} \cdot \text{rad}$.

X - Será tomado como 40° o cualquier ángulo menor al cual puede quedar sumergido cualquier borde interior de abertura en el casco, superestructura o caseta quedando por debajo de la cubierta y no puede ser cerrado de manera estanca.

E - El máximo brazo adrizante GZ , no será menor de $0,2 \text{ m}$ y ocurrirá en un ángulo que, preferentemente, será mayor de 30° , y nunca será inferior a 25° .

F - La altura metacéntrica inicial, GM_0 , corregida por una superficie libre medida a un ángulo de 0° , no será menor de $0,150 \text{ m}$.



Además se comprobará el criterio de viento, según el cual se debe demostrar la capacidad del buque para resistir los efectos combinados del viento de través y del balance respecto de cada condición de carga de forma que:

- Se somete al buque a una presión de viento de $P=504 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$ constante, perpendicular al plano de crujía, que producirá un par escorante l_{w1} .
- Se supondrá que a partir del ángulo de equilibrio resultante, θ_0 , el buque se balancea por la acción de las olas, hasta alcanzar un ángulo de balance θ_1 a barlovento.
- A continuación se someterá al buque a la presión de una ráfaga de viento que dará como resultado el correspondiente brazo escorante l_{w2} .
- En estas circunstancias, el área b debe ser igual o mayor que el área a .

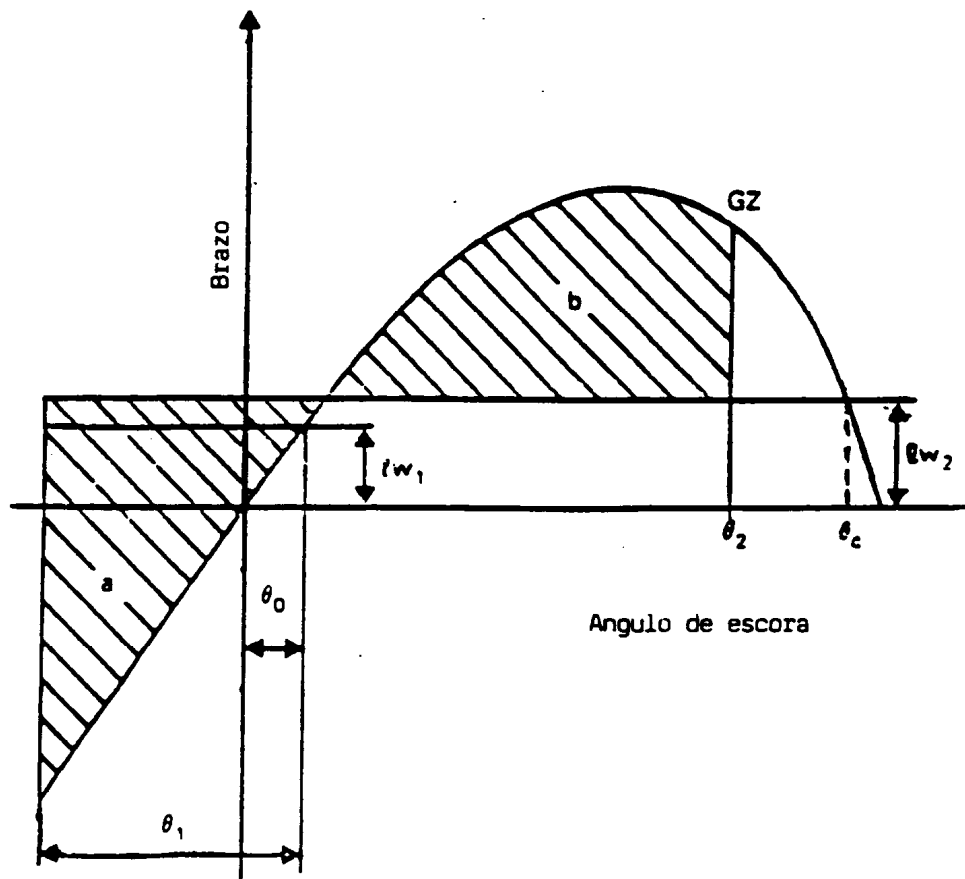


Figura - Viento y balance intensos

$$l_{w1} = \frac{P \cdot A \cdot Z}{1000 \cdot g \cdot \Delta} (m)$$

$$l_{w2} = 1.5 \cdot l_{w1} (m)$$

4. RESULTADOS DE ESTABILIDAD ESTÁTICA Y DINÁMICA

Se han analizado las situaciones de carga anteriormente mencionadas siguiendo los criterios expuestos. Los resultados del estudio de estabilidad se encuentran recogidos en el del presente documento. A modo de resumen, la tabla 1 recoge los principales parámetros obtenidos en cada una de estas situaciones.

SITUACIÓN DE CARGA	DESPLAZAMIENTO (T)	T _{MEDIO} (M)	TRIMADO (T _{POPA} -T _{PROA}) (M)	KGC (M)	GMC (M)	GZ _{MAX}		ESTABILIDAD DINÁMICA (MM·RAD)	
						m	°	30°	40°
Salida a plena carga 100 % consumos.	45478	9,662	1,214	10,526	4	2,994	42,8	578	1054
Llegada a plena carga 10 % consumos.	41390	8,913	0,850	10,608	4,191	3,125	43,6	610	1099
Salida en Lastre.	32103	7,186	1,034	8,154	7,635	5,198	51,4	1045	1816
Llegada en Lastre.	28257	6,441	0,558	7,427	9,153	5,92	53	1242	2111

Condición de carga 1

Desplazamiento kg	Calado Pp m	Calado Pr m	Eslora Flotación m	Calado m	Manga flotación m	Superficie Mojada m ²	Area flotación m ²	Coefficiente prismático	Coefficiente Bloque	LCB to zero pt. m	VCB from DWL m	GZ m	LCF to zero pt. m	TCF to zero pt. m	Angulo de escora
45475271	10,268	9,054	202,349	10,161	32	8201,422	5467,343	0,716	0,674	110,971	4,457	-0,019	102,944	0	0
45475271	10,278	9,026	202,298	10,778	32,123	8199,017	5475,167	0,717	0,633	110,969	4,467	0,332	103,11	1,069	5
45475271	10,31	8,939	202,878	11,859	32,494	8207,201	5515,916	0,717	0,567	110,972	4,496	0,689	103,279	2,146	10
45475271	10,362	8,79	205,52	12,829	33,13	8209,809	5570,449	0,71	0,508	110,976	4,545	1,063	103,801	3,218	15
45475271	10,428	8,575	207,805	13,679	34,051	8230,056	5661,286	0,707	0,458	110,983	4,612	1,465	104,225	4,301	20
45475271	10,547	7,903	211,449	15,063	35,868	8311,213	5862,104	0,705	0,388	110,998	4,786	2,366	105,258	6,741	30
45475271	10,735	6,743	211,571	15,97	29,526	8545,904	5241,479	0,717	0,445	111,029	5,027	2,97	105,122	8,095	40
45475271	11,084	5,173	211,795	16,439	24,775	8694,515	4657,018	0,727	0,514	111,046	5,376	2,865	105,442	8,905	50
45475271	11,635	2,884	213,352	16,57	21,915	8759,561	4327,346	0,727	0,572	111,082	5,749	2,363	108,11	9,491	60
45475271	12,739	-1,353	216,512	16,295	20,197	8775,073	4072,752	0,721	0,622	111,113	6,084	1,627	110,802	9,868	70
45475271	16,233	-13,841	218,454	15,743	19,271	8760,194	3918,431	0,717	0,669	111,137	6,327	0,748	113,868	10,072	80
45475271	0	0	217,481	15,79	18,979	8768,69	3870,203	0,721	0,681	111,154	6,455	-0,202	115,774	9,992	90

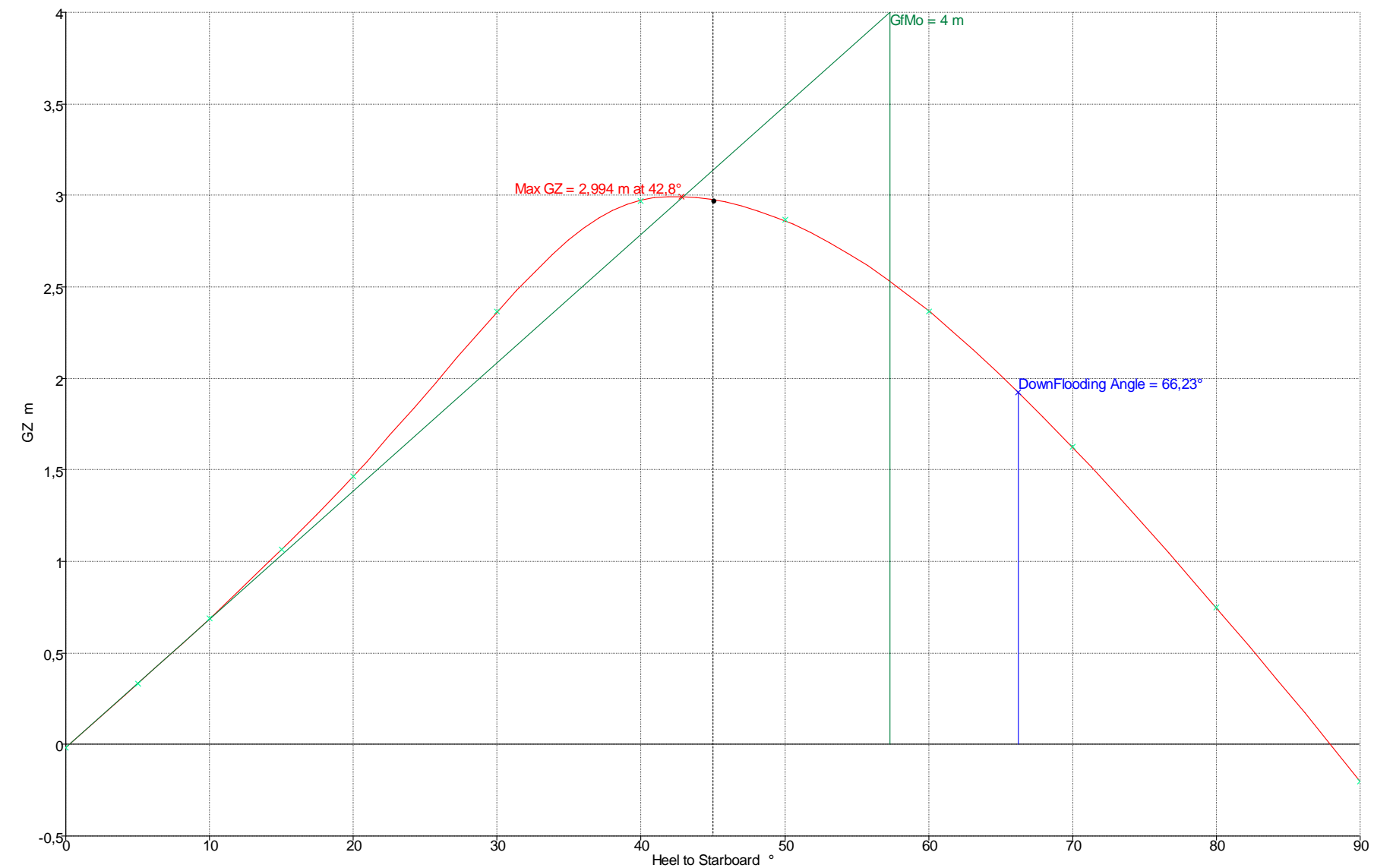
Descripción	% Llenado	Peso - kg	Xg - m	Zg - m	Yg - m	FS Mom - kgm
Buque en rosca	1	12649000	109,68	9,487	0	0
Tanque de carga 1	100%	6416247,3	68,7	10,253	0	0
Tanque de carga 2	100%	7586233,2	100,775	10,25	0	0
Tanque de carga 3	100%	7586209,5	135,345	10,25	0	0
Tanque de carga 4	100%	5542314,3	165,823	10,479	0	0
Tanque lastre 1s	0%	0	70,234	10,698	14,97	0
Tanque lastre 1p	0%	0	70,234	10,698	-14,97	0

Tanque lastre 2s	0%	0	101,882	10,258	14,999	0
Tanque lastre 2p	0%	0	101,882	10,258	-14,999	0
Tanque lastre 3s	0%	0	135,858	10,584	14,966	0
Tanque lastre 3p	0%	0	135,858	10,584	-14,966	0
Tanque lastre 4s	0%	0	160,663	13,027	14,723	0
Tanque lastre 4p	0%	0	160,663	13,027	-14,723	0
Tanque lastre fondo 1s	0%	0	70,896	1,359	6,478	0
Tanque lastre fondo 1p	0%	0	70,896	1,359	-6,478	0
Tanque lastre fondo 2s	0%	0	101,954	1,288	7,65	0
Tanque lastre fondo 2p	0%	0	101,954	1,288	-7,65	0
Tanque lastre fondo 3s	0%	0	135,693	1,313	7,009	0
Tanque lastre fondo 3p	0%	0	135,693	1,313	-7,009	0
Tanque lastre fondo 4s	0%	0	165,69	1,389	4,633	0
Tanque lastre fondo 4p	0%	0	165,69	1,389	-4,633	0
Tanque Fondo Proa	0%	0	191,632	1,468	0	0
Tanque lateral proa s	0%	0	196,106	15,22	6,79	0
Tanque lateral proa p	0%	0	196,106	15,22	-6,79	0
Pique de Proa	0%	0	203,467	9,882	0	0
Pique de Popa	80%	1965757,1	8,53	12,75	0	18052065,14
Tanque HFO Proa	100%	2335384,4	187,96	9,82	0	0
Tanque HFO Almacen s	100%	141645,03	30	14,5	12,5	0
Tanque HFO Almacen p	100%	141645,03	30	14,5	-12,5	0
Tanque IMO FO	100%	56658	40	14,5	14	0
Tanque FO Servicio p	100%	84987	53,5	11	7,5	0
Tanque FO Servicio s	100%	84987	53,5	11	-7,5	0
Tanque DO Almacen	100%	82030	40	11	-12,5	0
Tanque DO Diario p	100%	41015	47,5	11	-12,5	0
Tanque GO Almacen	100%	85240	40	11	12,5	0

Tanque GO Diario s	100%	42620	47,5	11	12,5	0
Tanque almacen aceite	100%	63270,01	45,667	2,202	5,909	0
Tanque renovacion aceite	100%	63270,01	45,667	2,202	-5,909	0
Tanque rebose p	0%	0	42,982	1,833	-3,483	0
Tanque rebose s	0%	0	42,982	1,833	3,483	0
Tanque aceite refrigeración boc	100%	91474,18	30,022	1,756	0	0
Tanque aguas aceitosas	10%	306,77	33,945	1,418	3,15	357,688
Tanque de aceite sucio	10%	188,05	33,153	1,541	-3,122	152,657
Tanque agua destilada	100%	202358,98	27,555	7,855	0	0
Tanque agua dulce s	100%	105730,6	28,257	7,856	7,43	0
Tanque agua dulce p	100%	105730,6	28,257	7,856	-7,43	0

Criterio IMO	IMO	Resultado
Mínima área de GZ entre 0° y 30°	0.06 m·rad	0,578
Mínima área de GZ entre 0° y 40°	0.09 m·rad	1,054
Mínima área de GZ entre 30° y 40°	0.03 m·rad	0,476
Mínimo GZ para un ángulo mayor de 30°	0.2 m	2,994
Angulo mínimo de GZ máximo	25 °	42,818
Mínimo valor de GM	0.15 m	4

Calado en maestra - m	9,662
Desplazamiento kg	45478178
Escora	0°
Calado en Pp m	10,269
Calado en Pr m	9,055
Calado en LCF m	9,619
Trimado m	1,214 Aft
Eslora flotación m	202,351
Manga flotación m	32
Área mojada m^2	8201,684
Area flotación m^2	5467,431
Cp	0,716
Cb	0,674
Cm	0,988
Cf	0,844
KB m	5,209
KG m	10,526
BMt m	9,317
BML m	316,773
GMt m	4
GML m	311,456
KMt m	14,526
KML m	321,982
TPc Tonne/cm	56,052
MTc Tonne.m	690,292



GZ = 2,976 m Heel to Starboard = 45,000 °

Condición de carga 2

Desplazamiento kg	Calado Pp m	Calado Pr m	Longitud Area Flotación m	Calado m	Manga flotación m	Superficie Mojada m ²	Area flotación m ²	Coeficiente prismático	Coeficiente Bloque	LCB to zero pt. m	VCB from DWL m	GZ m	LCF to zero pt. m	TCF to zero pt. m	Angulo de escora
41391175	9,338	8,489	203,379	9,257	32	7840,128	5365,452	0,705	0,67	111,114	4,111	-0,002	103,938	0	0
41391175	9,357	8,449	203,258	10,033	32,123	7834,679	5369,595	0,706	0,616	111,135	4,124	0,365	104,131	1,03	5
41391175	9,394	8,351	203,047	11,119	32,494	7839,73	5402,767	0,709	0,55	111,138	4,162	0,739	104,358	2,06	10
41391175	9,45	8,189	204,119	12,099	33,13	7855,611	5466,011	0,709	0,493	111,143	4,225	1,128	104,602	3,091	15
41391175	9,519	7,954	206,459	12,961	34,056	7876,17	5546,867	0,706	0,443	111,15	4,312	1,544	104,969	4,143	20
41391175	9,624	7,22	210,259	14,368	34,979	7941,398	5685,553	0,705	0,382	111,163	4,528	2,44	105,797	6,652	30
41391175	9,59	5,891	213,238	15,205	29,526	8043,661	5278,854	0,704	0,422	111,189	4,72	3,075	105,732	8,656	40
41391175	9,605	3,985	215,523	15,576	24,775	8139,198	4698,061	0,703	0,485	111,223	5,008	2,997	106,635	9,362	50
41391175	9,663	1,129	216,78	15,636	21,915	8204,179	4307,447	0,703	0,543	111,257	5,339	2,485	108,293	9,845	60
41391175	9,89	-4,323	217,584	15,301	20,199	8213,702	4099,063	0,702	0,6	111,298	5,64	1,705	113,249	10,228	70
41391175	10,823	-20,43	218,196	14,722	19,271	8224,68	3939,156	0,701	0,652	111,333	5,86	0,764	115,938	10,279	80
41391175	0	0	218,772	14,801	18,979	8243,944	3868,854	0,7	0,657	111,356	5,977	-0,25	117,063	10,011	90

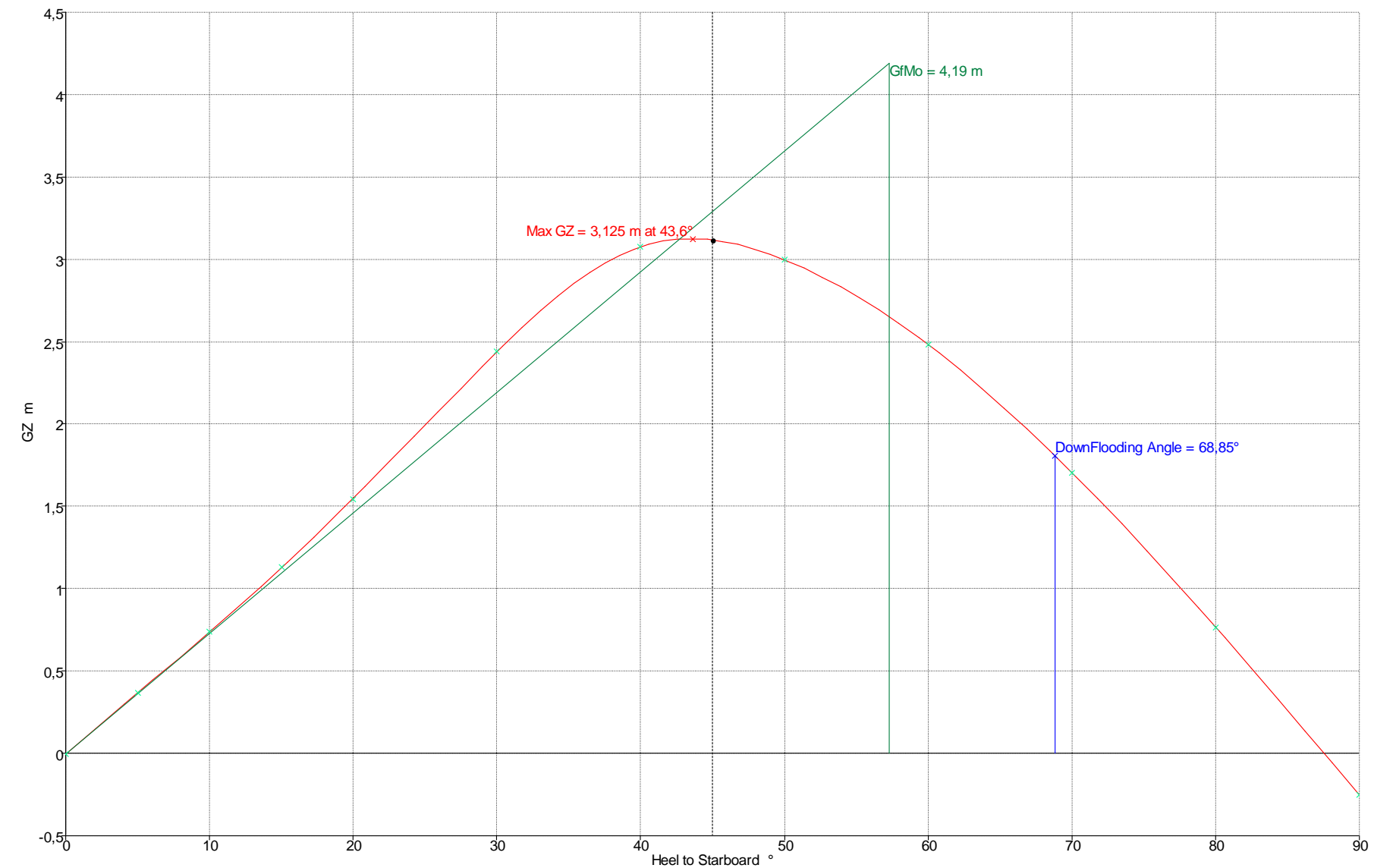
Descripción	% Llenado	Peso - kg	Xg - m	Zg - m	Yg - m	FS Mom - kgm
Lightship	1	12649000	109,68	9,487	0	0
Tanque de carga 1	100%	6416247,3	68,7	10,253	0	0
Tanque de carga 2	100%	7586233,24	100,775	10,25	0	0
Tanque de carga 3	100%	7586209,51	135,345	10,25	0	0
Tanque de carga 4	100%	5542314,26	165,823	10,479	0	0
Tanque lastre 1s	0%	0	70,234	10,698	14,97	0
Tanque lastre 1p	0%	0	70,234	10,698	-14,97	0

Tanque lastre 2s	0%	0	101,882	10,258	14,999	0
Tanque lastre 2p	0%	0	101,882	10,258	-14,999	0
Tanque lastre 3s	0%	0	135,858	10,584	14,966	0
Tanque lastre 3p	0%	0	135,858	10,584	-14,966	0
Tanque lastre 4s	0%	0	160,663	13,027	14,723	0
Tanque lastre 4p	0%	0	160,663	13,027	-14,723	0
Tanque lastre fondo 1s	0%	0	70,896	1,359	6,478	0
Tanque lastre fondo 1p	0%	0	70,896	1,359	-6,478	0
Tanque lastre fondo 2s	0%	0	101,954	1,288	7,65	0
Tanque lastre fondo 2p	0%	0	101,954	1,288	-7,65	0
Tanque lastre fondo 3s	0%	0	135,693	1,313	7,009	0
Tanque lastre fondo 3p	0%	0	135,693	1,313	-7,009	0
Tanque lastre fondo 4s	0%	0	165,69	1,389	4,633	0
Tanque lastre fondo 4p	0%	0	165,69	1,389	-4,633	0
Tanque Fondo Proa	0%	0	191,632	1,468	0	0
Tanque lateral proa s	0%	0	196,106	15,22	6,79	0
Tanque lateral proa p	0%	0	196,106	15,22	-6,79	0
Pique de Proa	0%	0	203,467	9,882	0	0
Pique de Popa	50%	1228597,93	8,889	11,609	0	18052065,14
Tanque HFO Proa	10%	233500,32	187,691	3,274	0	1958100,547
Tanque HFO Almacen s	10%	14164,52	30	13,15	12,5	98364,601
Tanque HFO Almacen p	10%	14164,52	30	13,15	-12,5	98364,601
Tanque IMO FO	10%	5665,8	40	13,15	14	6295,333
Tanque FO Servicio p	10%	8498,7	53,5	10,1	7,5	796753,115
Tanque FO Servicio s	10%	8498,7	53,5	10,1	-7,5	796753,115
Tanque DO Almacen	10%	8203	40	10,1	-12,5	85447,913
Tanque DO Diario p	10%	4101,49	47,5	10,1	-12,5	42723,957
Tanque GO Almacen	10%	8524	40	10,1	12,5	88791,667

Tanque GO Diario s	10%	4261,99	47,5	10,1	12,5	44395,834
Tanque almacen aceite	10%	6321,08	47,132	1,033	4,799	191708,903
Tanque renovacion aceite	10%	6321,08	47,132	1,033	-4,799	191708,903
Tanque rebose p	10%	3142,95	44,846	0,687	-3,44	1150
Tanque rebose s	10%	3142,95	44,846	0,687	3,44	1150
Tanque aceite refrigeración boc	10%	9143,18	30,154	0,631	0	49066,665
Tanque aguas aceitosas	10%	306,77	33,945	1,418	3,15	357,688
Tanque de aceite sucio	10%	188,05	33,153	1,541	-3,122	152,657
Tanque agua destilada	10%	20227,78	27,789	7,088	0	640000
Tanque agua dulce s	10%	10569,92	29,717	7,103	7,369	156250
Tanque agua dulce p	10%	10569,92	29,717	7,103	-7,369	156250

Criterio IMO	IMO	Resultado
Mínima área de GZ entre 0° y 30°	0.06 m·rad	0,61
Mínima área de GZ entre 0° y 40°	0.09 m·rad	1,099
Mínima área de GZ entre 30° y 40°	0.03 m·rad	0,489
Mínimo GZ para un ángulo mayor de 30°	0.2 m	3,125
Angulo mínimo de GZ máximo	25 °	43,621
Mínimo valor de GM	0.15 m	4,19

Calado en maestra - m	8,913
Desplazamiento kg	41390166
Escora	0°
Calado en Pp m	9,338
Calado en Pr m	8,488
Calado en LCF m	8,887
Trimado m	0,850 Aft
Eslora flotación m	203,38
Manga flotación m	32
Área mojada m ²	7840,031
Area flotación m ²	5365,419
Cp	0,705
Cb	0,67
Cm	0,987
Cf	0,824
KB m	4,806
KG m	10,608
BMt m	9,992
BML m	330,636
GMt m	4,191
GML m	324,834
KMt m	14,799
KML m	335,442
TPc Tonne/cm	55,006
MTc Tonne.m	655,226



GZ = 3,116 m Heel to Starboard = 45,000 °

Condición de carga 3

Desplazamiento kg	Calado Pp m	Calado Pr m	Longitud Area Flotación m	Calado m	Manga flotación m	Superficie Mojada m^2	Area flotación m^2	Coefficiente prismático	Coefficiente Bloque	LCB to zero pt. m	VCB from DWL m	GZ m	LCF to zero pt. m	TCF to zero pt. m	Angulo de escora
32105472	7,703	6,669	206,765	7,609	32,003	6932,276	5104,775	0,668	0,622	112,943	3,327	-0,027	108,124	0	0
32105472	7,718	6,629	206,714	8,31	32,123	6937,521	5116,743	0,67	0,568	112,946	3,347	0,641	108,114	0,934	5
32105472	7,755	6,514	206,574	9,407	32,495	6951,848	5150,539	0,673	0,496	112,949	3,41	1,316	108,1	1,87	10
32105472	7,811	6,318	206,327	10,403	33,132	6967,098	5194,427	0,679	0,44	112,953	3,511	2,002	108,202	2,81	15
32105472	7,871	6,038	206,046	11,286	33,665	6990,946	5234,789	0,687	0,4	112,962	3,648	2,695	108,282	3,872	20
32105472	7,888	5,123	209,066	12,708	31,967	6930,822	5161,248	0,687	0,369	112,976	3,944	3,947	108,778	6,725	30
32105472	7,514	3,447	212,735	13,473	29,525	6851,138	5089,334	0,673	0,37	113,01	4,107	4,82	108,781	9,583	40
32105472	6,87	0,707	215,146	13,654	24,775	6902,082	4611,776	0,663	0,43	113,049	4,248	5,196	108,889	10,491	50
32105472	6,036	-3,761	216,942	13,526	21,915	6922,92	4160,708	0,655	0,487	113,11	4,454	4,951	111,034	10,865	60
32105472	4,638	- 12,515	218,13	13,055	20,197	6961,042	3880,557	0,65	0,544	113,162	4,653	4,287	112,88	10,917	70
32105472	0,744	- 38,127	218,433	12,482	19,271	7020,991	3832,336	0,648	0,596	113,227	4,81	3,359	116,531	10,701	80
32105472	0	0	217,756	12,717	18,979	7053,642	3779,296	0,65	0,596	113,271	4,907	2,272	117,414	10,157	90

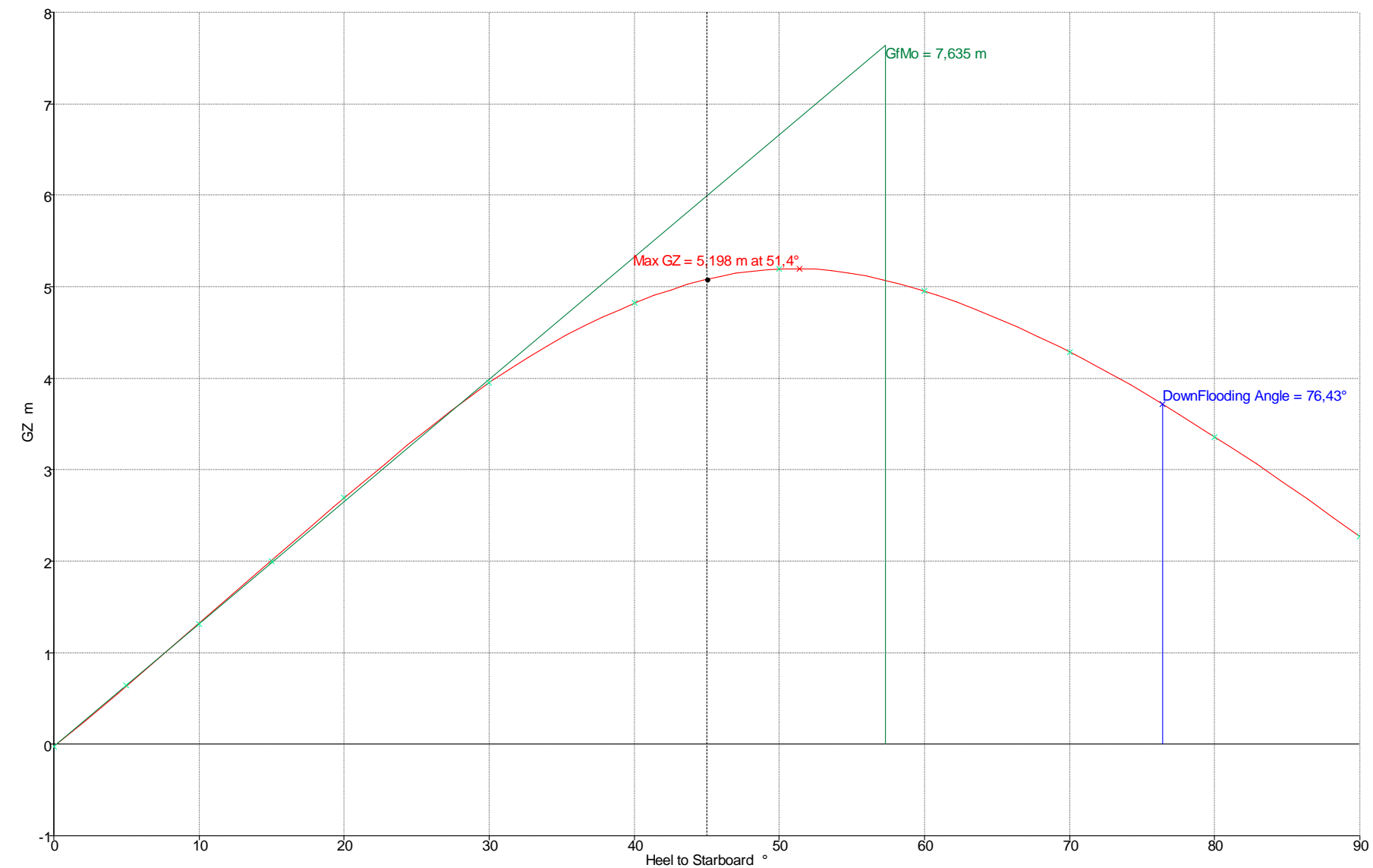
Descripción	% Llenado	Peso - kg	Xg - m	Zg - m	Yg - m	FS Mom - kgm
Lightship	1	12649000	109,68	9,487	0	0
Tanque de carga 1	0%	0	68,7	10,253	0	0
Tanque de carga 2	0%	0	100,775	10,25	0	0
Tanque de carga 3	0%	0	135,345	10,25	0	0
Tanque de carga 4	0%	0	165,823	10,479	0	0

Tanque lastre 1s	100%	880177,9	70,234	10,698	14,97	0
Tanque lastre 1p	100%	880183,78	70,234	10,698	-14,97	0
Tanque lastre 2s	100%	1097456,4	101,882	10,258	14,999	0
Tanque lastre 2p	100%	1097456,4	101,882	10,258	-14,999	0
Tanque lastre 3s	100%	1037636,51	135,858	10,584	14,966	0
Tanque lastre 3p	100%	1037638,7	135,858	10,584	-14,966	0
Tanque lastre 4s	100%	260233,23	160,663	13,027	14,723	0
Tanque lastre 4p	100%	260233,86	160,663	13,027	-14,723	0
Tanque lastre fondo 1s	100%	935318,31	70,896	1,359	6,478	0
Tanque lastre fondo 1p	100%	935319,31	70,896	1,359	-6,478	0
Tanque lastre fondo 2s	100%	1341207,07	101,954	1,288	7,65	0
Tanque lastre fondo 2p	100%	1341210,7	101,954	1,288	-7,65	0
Tanque lastre fondo 3s	100%	1215563,76	135,693	1,313	7,009	0
Tanque lastre fondo 3p	100%	1215558,88	135,693	1,313	-7,009	0
Tanque lastre fondo 4s	100%	590791,87	165,69	1,389	4,633	0
Tanque lastre fondo 4p	100%	590791,87	165,69	1,389	-4,633	0
Tanque Fondo Proa	100%	451726,41	191,632	1,468	0	0
Tanque lateral proa s	100%	31202,46	196,106	15,22	6,79	0
Tanque lateral proa p	100%	31202,46	196,106	15,22	-6,79	0
Pique de Proa	0%	0	203,467	9,882	0	0
Pique de Popa	20%	491355,13	10,085	10,178	0	18052065,14
Tanque HFO Proa	100%	2335384,36	187,96	9,82	0	0
Tanque HFO Almacen s	100%	141645,03	30	14,5	12,5	0
Tanque HFO Almacen p	100%	141645,03	30	14,5	-12,5	0
Tanque IMO FO	100%	56658	40	14,5	14	0
Tanque FO Servicio p	100%	84987	53,5	11	7,5	0
Tanque FO Servicio s	100%	84987	53,5	11	-7,5	0
Tanque DO Almacen	100%	82030	40	11	-12,5	0

Tanque DO Diario p	100%	41015	47,5	11	-12,5	0
Tanque GO Almacen	100%	85240	40	11	12,5	0
Tanque GO Diario s	100%	42620	47,5	11	12,5	0
Tanque almacen aceite	100%	63270,01	45,667	2,202	5,909	0
Tanque renovacion aceite	100%	63270,01	45,667	2,202	-5,909	0
Tanque rebose p	10%	3142,95	44,846	0,687	-3,44	1150
Tanque rebose s	10%	3142,95	44,846	0,687	3,44	1150
Tanque aceite refrigeración boc	100%	91474,18	30,022	1,756	0	0
Tanque aguas aceitosas	10%	306,77	33,945	1,418	3,15	357,688
Tanque de aceite sucio	10%	188,05	33,153	1,541	-3,122	152,657
Tanque agua destilada	100%	202358,98	27,555	7,855	0	0
Tanque agua dulce s	100%	105730,6	28,257	7,856	7,43	0
Tanque agua dulce p	100%	105730,6	28,257	7,856	-7,43	0

Criterio IMO		IMO	Resultado
Mínima área de GZ entre 0° y 30°		0.06 m·rad	1,045
Mínima área de GZ entre 0° y 40°		0.09 m·rad	1,816
Mínima área de GZ entre 30° y 40°		0.03 m·rad	0,772
Mínimo GZ para un ángulo mayor de 30°		0.2 m	5,198
Ángulo mínimo de GZ máximo		25 °	51,4
Mínimo valor de GM		0.15 m	7,635

Calado en maestra - m	7,186
Desplazamiento kg	32103624
Escora	0
Calado en Pp m	7,703
Calado en Pr m	6,669
Calado en LCF m	7,176
Trimado m	1,034 aft
Eslora flotación m	206,765
Manga flotación m	32,003
Área mojada m ²	6932,201
Area flotación m ²	5104,855
Cp	0,668
Cb	0,622
Cm	0,978
Cf	0,771
KB m	3,873
KG m	8,154
BMt m	11,916
BML m	379,054
GMt m	7,635
GML m	374,774
KMt m	15,789
KML m	382,927
TPc Tonne/cm	52,335
MTc Tonne.m	586,349



GZ = 5,079 m Heel to Starboard = 45,000 °

Condición de carga 4

Desplazamiento kg	Calado Pp m	Calado Pr m	Longitud Area Flotación m	Calado m	Manga flotación m	Superficie Mojada m^2	Area flotación m^2	Coeficiente prismático	Coeficiente Bloque	LCB to zero pt. m	VCB from DWL m	GZ m	TCF to zero pt. m	Angulo de escora
28260091	6,438	6,438	206,967	6,425	32,001	6575,655	5036,621	0,658	0,648	111,415	2,969	-0,003	0	0
28259428	6,423	6,423	206,954	7,565	32,123	6585,045	5052,967	0,659	0,548	111,311	2,994	0,804	0,899	5
28259442	6,378	6,378	206,908	8,665	32,491	6586,008	5071,245	0,664	0,473	111,001	3,067	1,619	1,79	10
28259482	6,297	6,297	206,825	9,666	33,017	6612,986	5115,535	0,673	0,418	110,502	3,186	2,443	2,757	15
28259509	6,167	6,167	206,747	10,55	33,162	6634,141	5136,065	0,686	0,381	109,84	3,342	3,257	3,854	20
28259510	5,621	5,621	211,465	11,948	29,675	6508,646	4970,195	0,689	0,368	108,13	3,658	4,621	6,889	30
28260512	4,453	4,453	215,54	12,694	27,78	6390,319	4899,818	0,678	0,363	106,138	3,834	5,522	9,727	40
28259592	2,433	2,433	216,437	12,768	24,775	6402,66	4570,068	0,672	0,403	104,241	3,924	6,086	10,952	50
28259663	-0,761	-0,761	209,057	12,558	21,916	6371,963	4054,444	0,695	0,479	102,758	4,102	5,979	11,328	60
28259507	-6,928	-6,928	200,442	11,955	20,197	6328,528	3654,573	0,729	0,57	101,676	4,282	5,349	11,416	70

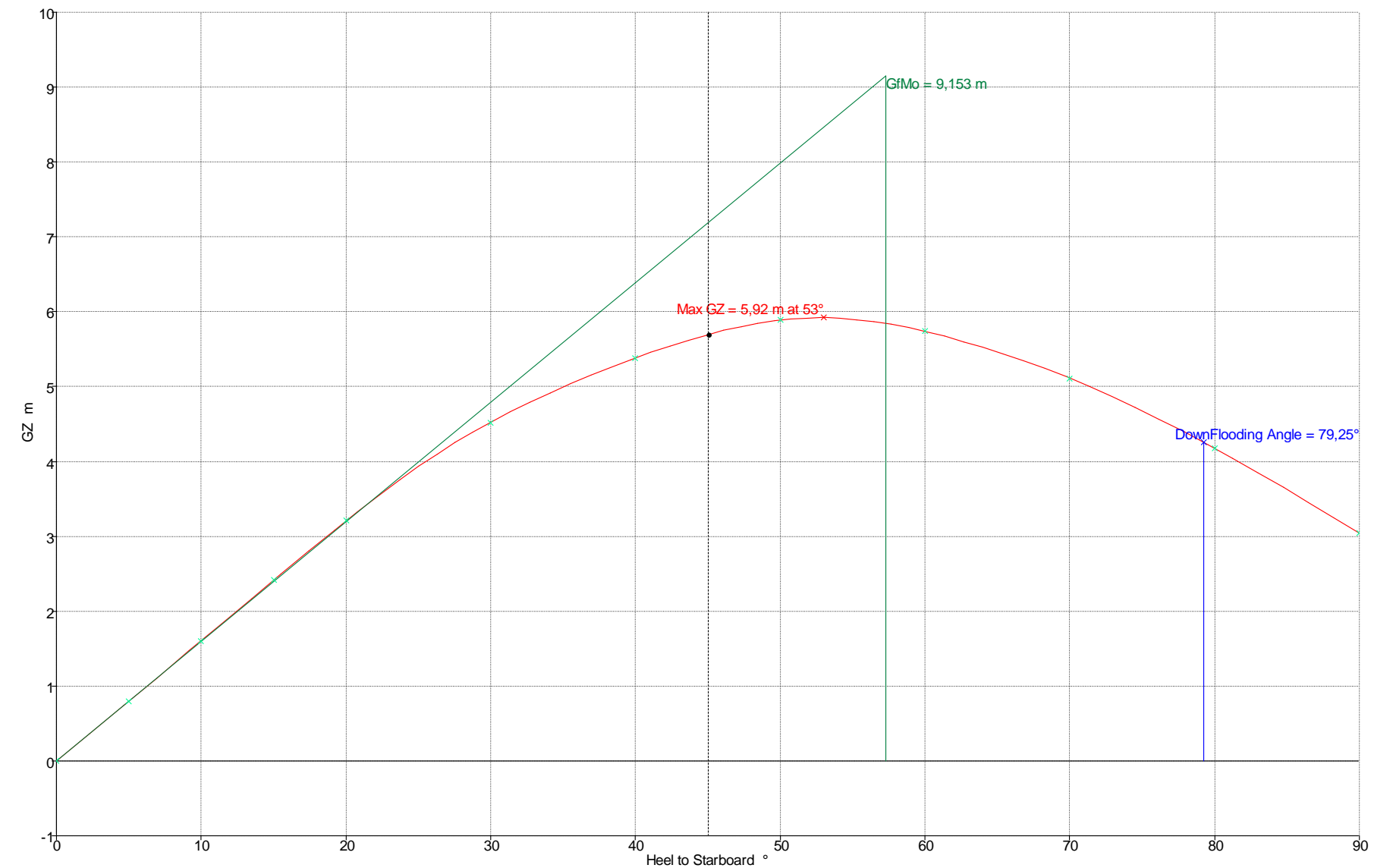
% Llenado	Peso - kg	Xg - m	Zg - m	Yg - m	FS Mom - kgm
1	12649000	109,68	9,487	0	0
0%	0	68,7	10,253	0	0
0%	0	100,775	10,25	0	0
0%	0	135,345	10,25	0	0
0%	0	165,823	10,479	0	0
100%	880177,9	70,234	10,698	14,97	0
100%	880183,78	70,234	10,698	-14,97	0
100%	1097456,4	101,882	10,258	14,999	0

100%	1097456,4	101,882	10,258	-14,999	0
100%	1037636,51	135,858	10,584	14,966	0
100%	1037638,7	135,858	10,584	-14,966	0
100%	260233,23	160,663	13,027	14,723	0
100%	260233,86	160,663	13,027	-14,723	0
100%	935318,31	70,896	1,359	6,478	0
100%	935319,31	70,896	1,359	-6,478	0
100%	1341207,07	101,954	1,288	7,65	0
100%	1341210,7	101,954	1,288	-7,65	0
100%	1215563,76	135,693	1,313	7,009	0
100%	1215558,88	135,693	1,313	-7,009	0
100%	590791,87	165,69	1,389	4,633	0
100%	590791,87	165,69	1,389	-4,633	0
100%	451726,41	191,632	1,468	0	0
100%	31202,46	196,106	15,22	6,79	0
100%	31202,46	196,106	15,22	-6,79	0
0%	0	203,467	9,882	0	0
0%	0	8,408	13,466	0	0
10%	233500,32	187,691	3,274	0	1958100,547
10%	14164,52	30	13,15	12,5	98364,601
10%	14164,52	30	13,15	-12,5	98364,601
10%	5665,8	40	13,15	14	6295,333
10%	8498,7	53,5	10,1	7,5	796753,115
10%	8498,7	53,5	10,1	-7,5	796753,115
10%	8203	40	10,1	-12,5	85447,913
10%	4101,49	47,5	10,1	-12,5	42723,957
10%	8524	40	10,1	12,5	88791,667
10%	4261,99	47,5	10,1	12,5	44395,834

10%	6321,07	47,132	1,033	4,799	191708,903
10%	6321,07	47,132	1,033	-4,799	191708,903
10%	3142,94	44,846	0,687	-3,44	1150
10%	3142,94	44,846	0,687	3,44	1150
10%	9143,18	30,154	0,631	0	49066,665
10%	306,77	33,945	1,418	3,15	357,688
10%	188,05	33,153	1,541	-3,122	152,657
10%	20227,78	27,789	7,088	0	640000
10%	10569,92	29,717	7,103	7,369	156250
10%	10569,92	29,717	7,103	-7,369	156250

Criterio IMO	IMO	Resultado
Mínima área de GZ entre 0° y 30°	0.06 m·rad	1,242
Mínima área de GZ entre 0° y 40°	0.09 m·rad	2,111
Mínima área de GZ entre 30° y 40°	0.03 m·rad	0,869
Mínimo GZ para un ángulo mayor de 30°	0.2 m	5,92
Angulo mínimo de GZ máximo	25 °	53,018
Mínimo valor de GM	0.15 m	9,153

Calado en maestra - m	6,441
Desplazamiento kg	28257767
Escora	0°
Calado en PProa m	6,72
Calado en PPopa m	6,162
Calado en LCF m	6,438
Trimado m	0,558 Fwd
Eslora flotación m	206,687
Manga flotación m	32,001
Área mojada m ²	6566,325
Area flotación m ²	5011,759
Cp	0,658
Cb	0,626
Cm	0,986
Cf	0,758
KB m	3,47
KG m	7,427
BMt m	13,11
BML m	413,365
GMt m	9,153
GML m	409,407
KMt m	16,58
KML m	416,835
TPc Tonne/cm	51,381
MTc Tonne.m	563,802



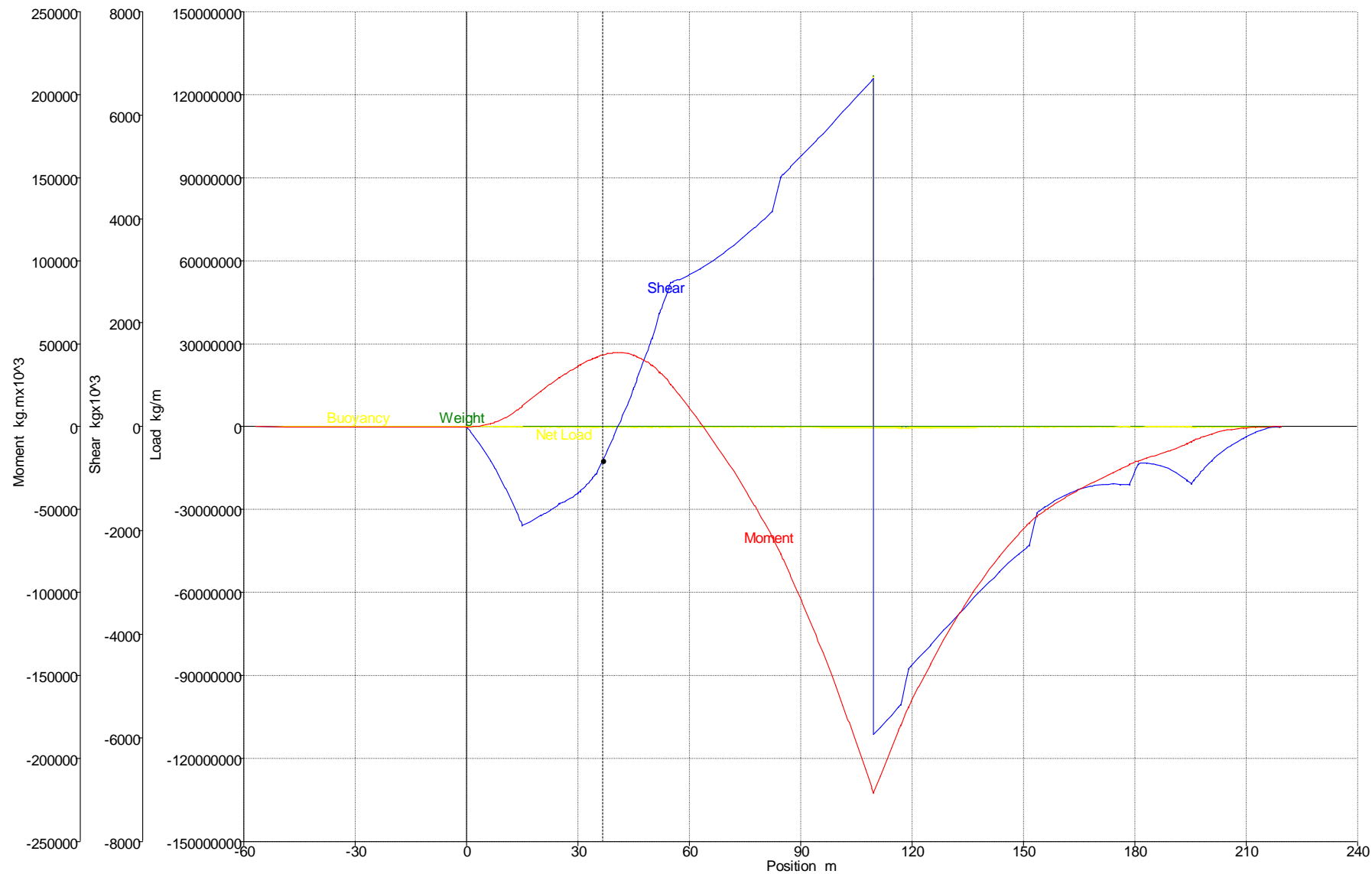
GZ = 5.696 m Heel to Starboard = 45.000 °

5. RESISTENCIA LONGITUDINAL

Los resultados de resistencia longitudinal han sido obtenidos, al igual que los de estabilidad, empleando el programa de cálculo HIDROMAX. Los datos de salida de este programa son las curvas de Pesos, Empujes, Fuerzas Cortantes y Momentos Flectores, para cada una de las situaciones de carga bajo estudio.

Condición de carga 1

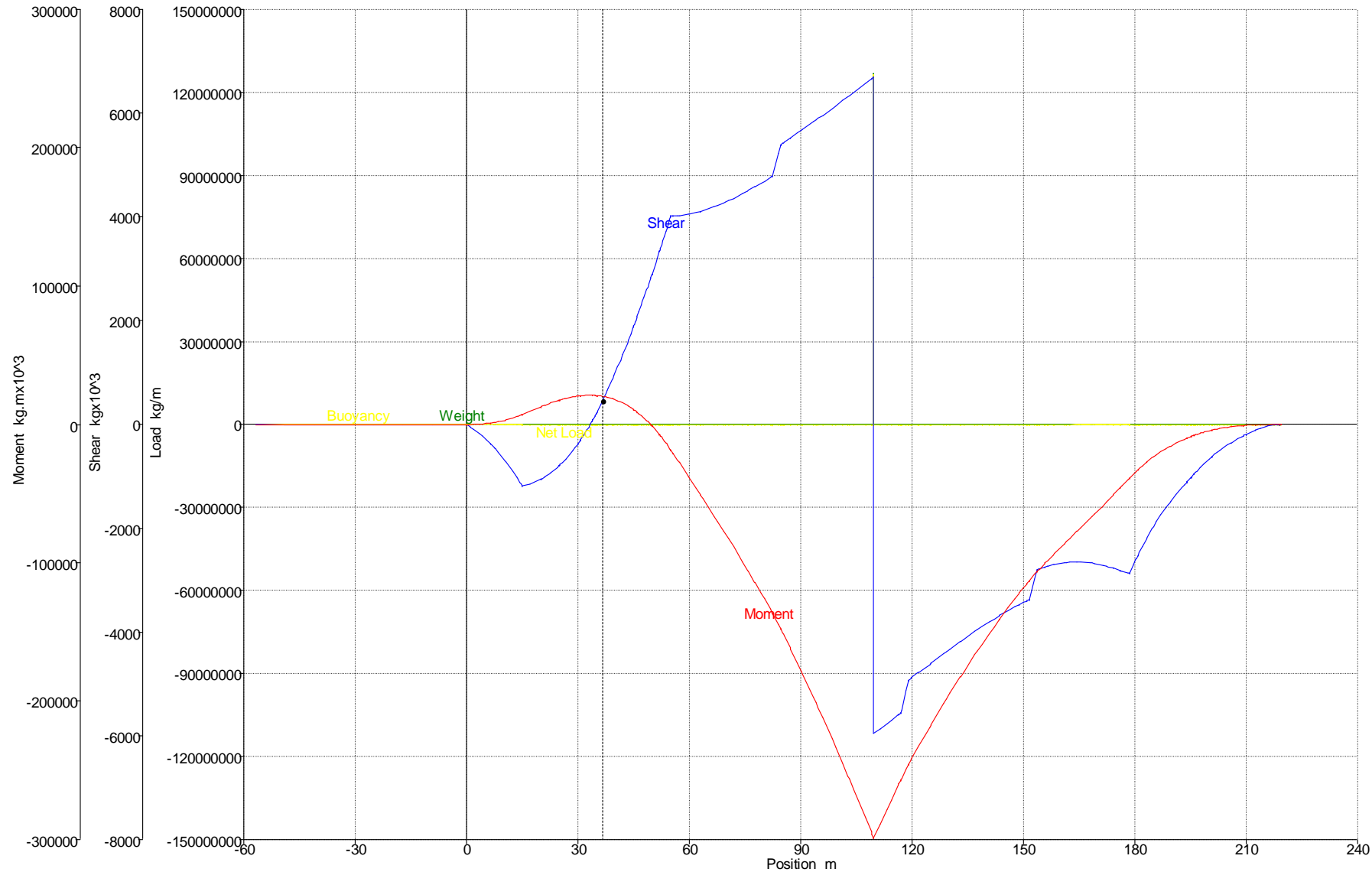
Descripción	Posición - m	kg/ m	Peso - kg	Carga Neta - kg/m	Cortante kg-1000	Flector - kg-m-1000
st 35	-56,716	0	0	0	0	0
st 34	-48,812	0	0	0	-0,149	-20,608
st 33	-40,909	0	0	0	-0,299	-41,217
st 32	-33,005	0	0	0	-0,448	-61,825
st 31	-25,101	0	0	0	-0,598	-82,433
st 30	-17,198	0	0	0	-0,747	-103,042
st 29	-9,294	0	0	0	-0,897	-123,65
st 28	-1,391	0	0	0	-1,046	-144,258
st 27	6,513	0	119242,209	119242,209	-657,939	1850,128
st 26	14,416	21388,662	189213,262	167824,6	-1800,646	11290,296
st 25	22,32	68469,814	23750,063	-44719,751	-1623,783	25292,52
st 24	30,223	128195,997	67127,4	-61068,597	-1265,341	36695,557
st 23	38,127	180081,644	24579,869	-155501,775	-434,807	43974,631
st 22	46,03	221164,39	29980,096	-191184,295	931,452	42149,055
st 21	53,934	252472,189	56658	-195814,189	2566,143	28381,772
st 20	61,838	274393,71	234296,835	-40096,875	2995,009	5825,232
st 19	69,741	288642,109	234360	-54282,109	3371,026	-19303,758
st 18	77,645	298102,604	234360	-63742,604	3839,214	-47789,054
st 17	85,548	304733,228	234360	-70373,228	4886,469	-81302,047
st 16	93,452	308915,115	234360	-74555,115	5461,358	-122216,726
st 15	101,355	311443,359	234360	-77083,359	6061,173	-167782,681
st 14	109,259	313152,491	234360	-78792,491	6677,403	-218159,615
st 13	117,162	313716,649	0	-313716,649	-5298,952	-178805,291
st 12	125,066	313349,405	234360	-78989,405	-4204,533	-142680,686
st 11	132,969	311425,483	234360	-77065,483	-3586,008	-111950,543
st 10	140,873	306484,548	234360	-72124,548	-2993,457	-86023,615
st 9	148,777	297149,625	234360	-62789,625	-2456,708	-64584,157
st 8	156,68	280551,65	233651,374	-46900,276	-1504,752	-49115,287
st 7	164,584	253804,519	229231,268	-24573,251	-1220,172	-38505,956
st 6	172,487	218919,634	214663,431	-4256,203	-1110,617	-29450,486
st 5	180,391	178577,034	0	-178577,034	-792,459	-21017,879
st 4	188,294	133721,308	163972,883	30251,575	-783,885	-15342,887
st 3	196,198	89736,354	0	-89736,354	-1012,618	-7941,155
st 2	204,101	53782,261	0	-53782,261	-455,362	-2384,743
st 1	212,005	31358,959	0	-31358,959	-125,357	-260,538



Shear = -652,403 kgx10³ Position = 36,692 m

Condición de carga 2

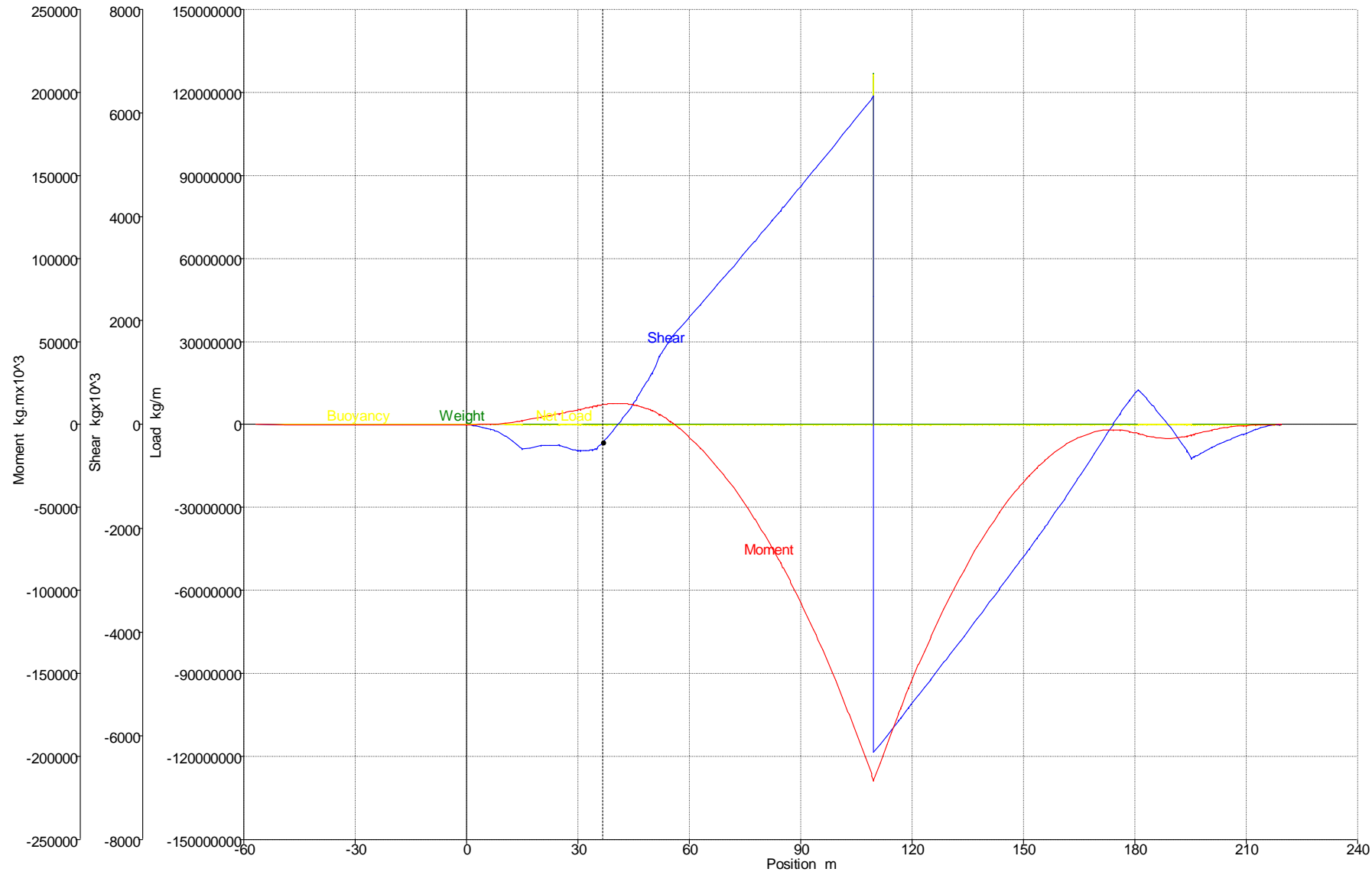
Descripción	Posición - m	kg/ m	Peso - kg	Carga Neta - kg/m	Cortante kg-1000	Flector - kg-m-1000
st 35	-56,716	0	0	0	0	0
st 34	-48,812	0	0	0	-0,137	-10,132
st 33	-40,909	0	0	0	-0,273	-20,264
st 32	-33,005	0	0	0	-0,41	-30,396
st 31	-25,101	0	0	0	-0,546	-40,528
st 30	-17,198	0	0	0	-0,683	-50,66
st 29	-9,294	0	0	0	-0,819	-60,792
st 28	-1,391	0	0	0	-0,956	-70,924
st 27	6,513	0	71069,195	71069,195	-370,487	1026,84
st 26	14,416	15394,019	132208,771	116814,751	-1117,071	6654,489
st 25	22,32	53212,46	1162,552	-52049,908	-950,552	15269,32
st 24	30,223	109784,42	7341,153	-102443,266	-347,187	20627,957
st 23	38,127	160174,197	2281,37	-157892,826	682,197	19583,691
st 22	46,03	200376,929	3676,037	-196700,892	2089,468	8803,701
st 21	53,934	231122,611	5715,754	-225406,857	3771,855	-14221,058
st 20	61,838	252582,786	234296,835	-18285,952	4084,378	-46023,008
st 19	69,741	266386,275	234360	-32026,275	4286,264	-79063,841
st 18	77,645	275403,067	234360	-41043,067	4576,812	-114070,783
st 17	85,548	281589,739	234360	-47229,739	5442,919	-152687,533
st 16	93,452	285327,635	234360	-50967,635	5833,15	-197260,19
st 15	101,355	287412,26	234360	-53052,26	6244,8	-245010,746
st 14	109,259	288677,335	234360	-54317,335	6669,357	-296071,086
st 13	117,162	288797,612	0	-288797,612	-5502,18	-255871,402
st 12	125,066	287986,693	234360	-53626,693	-4606,449	-217344,864
st 11	132,969	285618,786	234360	-51258,786	-4190,122	-182628,244
st 10	140,873	280248,13	234360	-45888,13	-3803,248	-151102,969
st 9	148,777	270602,306	234360	-36242,306	-3475,216	-122426,886
st 8	156,68	254175,485	233651,374	-20524,111	-2732,751	-98066,173
st 7	164,584	228610,056	229231,268	621,212	-2652,663	-76924,525
st 6	172,487	196004,555	214663,431	18658,876	-2734,019	-55768,276
st 5	180,391	159080,72	0	-159080,72	-2584,308	-33808,421
st 4	188,294	118820,675	17041,187	-101779,488	-1614,052	-17495,234
st 3	196,198	79879,562	0	-79879,562	-936,783	-7590,774
st 2	204,101	48992,56	0	-48992,56	-437,336	-2365,452
st 1	212,005	31290,747	0	-31290,747	-125,334	-273,616



- Shear = 461,732 kgx10^3 Position = 36,692 m

Condición de carga 3

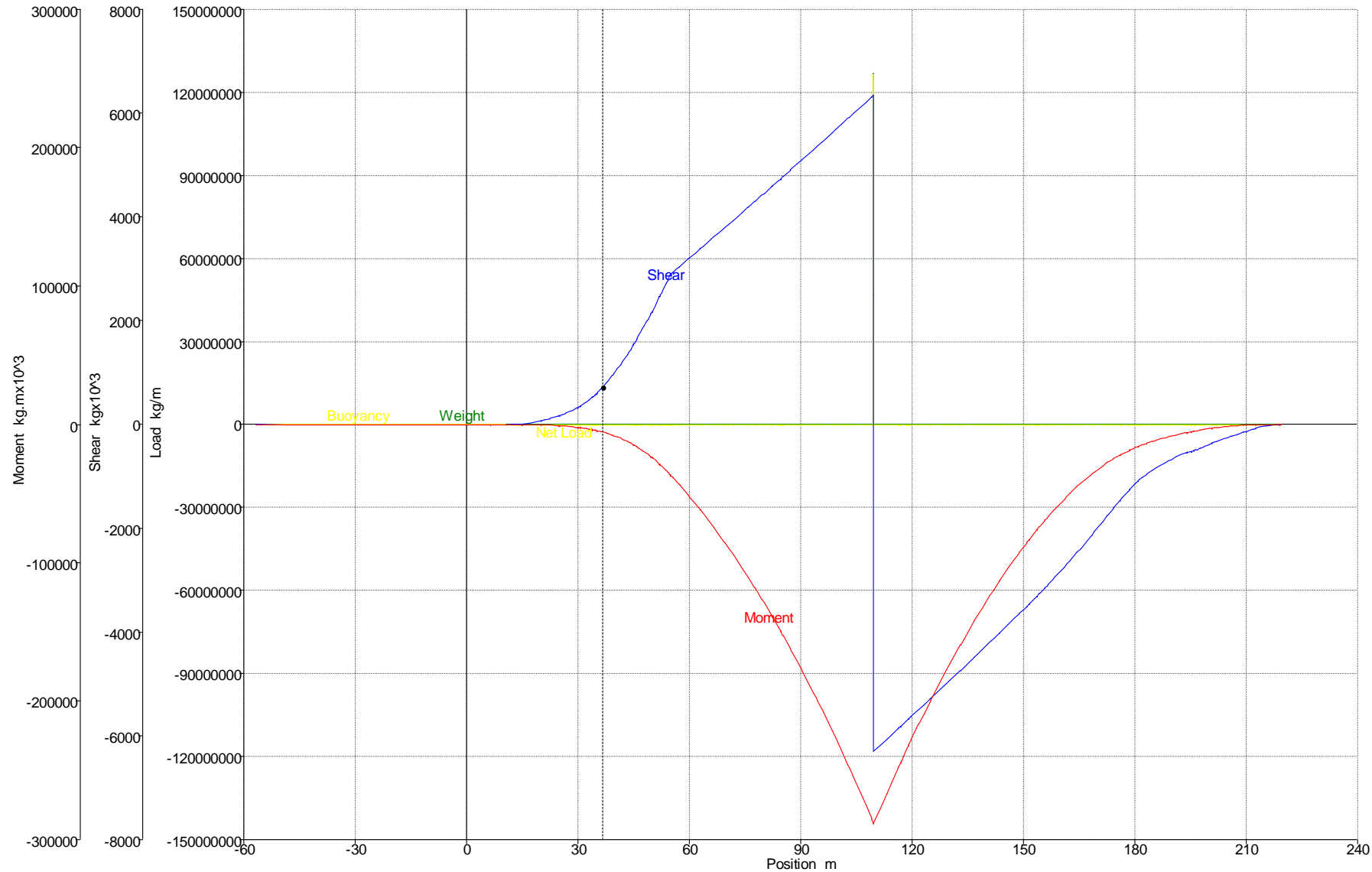
Descripción	Posición - m	kg/ m	Peso - kg	Carga Neta - kg/m	Cortante kg-1000	Flector - kg-m-1000
st 35	-56,716	0	0	0	0	0
st 34	-48,812	0	0	0	-0,013	-5,34
st 33	-40,909	0	0	0	-0,025	-10,68
st 32	-33,005	0	0	0	-0,038	-16,02
st 31	-25,101	0	0	0	-0,05	-21,36
st 30	-17,198	0	0	0	-0,063	-26,7
st 29	-9,294	0	0	0	-0,075	-32,04
st 28	-1,391	0	0	0	-0,088	-37,38
st 27	6,513	0	22762,048	22762,048	-92,806	206,414
st 26	14,416	6214,321	73059,576	66845,255	-437,364	2062,575
st 25	22,32	25212,591	23750,063	-1462,528	-403,672	5488,134
st 24	30,223	60772,583	67127,422	6354,839	-499,668	8950,246
st 23	38,127	105491,337	24697,805	-80793,532	-234,276	12400,749
st 22	46,03	143401,198	30644,71	-112756,488	524,835	11399,585
st 21	53,934	173291,127	56657,997	-116633,13	1535,994	3337,666
st 20	61,838	194606,437	112732,394	-81874,044	2213,514	-11614,735
st 19	69,741	208582,962	125122,803	-83460,159	2866,18	-31689,259
st 18	77,645	217817,759	133087,544	-84730,215	3530,055	-56965,279
st 17	85,548	224221,077	138135,844	-86085,233	4205,034	-87532,617
st 16	93,452	228175,364	140959,735	-87215,629	4889,494	-123475,24
st 15	101,355	230477,525	141795,487	-88682,038	5584,944	-164868,439
st 14	109,259	231958,973	141952,301	-90006,672	6290,951	-211800,627
st 13	117,162	232296,061	140992,883	-91303,179	-5641,773	-169704,892
st 12	125,066	231702,538	139173,379	-92529,159	-4915,183	-127987,042
st 11	132,969	229551,372	135819,834	-93731,538	-4178,387	-92052,763
st 10	140,873	224449,527	129318,852	-95130,676	-3431,934	-61980,199
st 9	148,777	215462,767	118034,26	-97428,507	-2672,264	-37855,952
st 8	156,68	200900,159	98734,451	-102165,707	-1887,316	-19823,571
st 7	164,584	179163,172	70498,26	-108664,912	-1055,891	-8165,777
st 6	172,487	152316,905	42081,782	-110235,123	-182,825	-3270,393
st 5	180,391	122987,052	29109,995	-93877,057	635,382	-5151,976
st 4	188,294	91956,944	185147,05	93190,107	60,496	-8296,92
st 3	196,198	62554,568	26375,601	-36178,967	-617,492	-5736,77
st 2	204,101	40009,856	8409,292	-31600,564	-334,908	-2007,964
st 1	212,005	26942,654	0	-26942,654	-109,727	-273,322



- Shear = -345,438 kgx10^3 Position = 36,692 m

Condición de carga 4

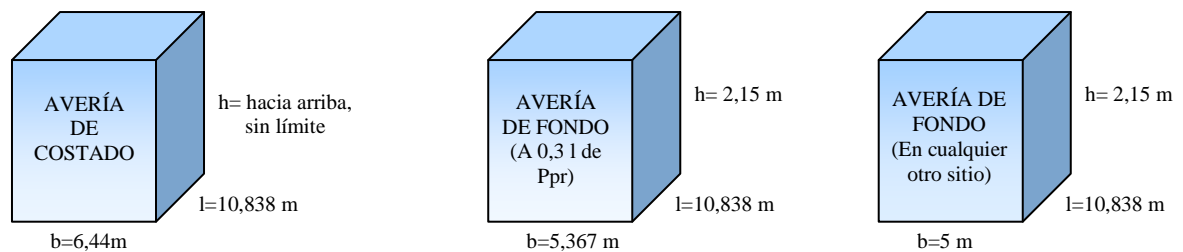
Descripción	Posición - m	kg/ m	Peso - kg	Carga Neta - kg/m	Cortante kg-1000	Flector - kg-m-1000
st 35	-56,716	0	0	0	0	0
st 34	-48,812	0	0	0	-0,009	-6,36
st 33	-40,909	0	0	0	-0,018	-12,72
st 32	-33,005	0	0	0	-0,028	-19,079
st 31	-25,101	0	0	0	-0,037	-25,439
st 30	-17,198	0	0	0	-0,046	-31,799
st 29	-9,294	0	0	0	-0,055	-38,159
st 28	-1,391	0	0	0	-0,065	-44,519
st 27	6,513	0	0	0	-0,074	-50,878
st 26	14,416	4402,751	0	-4402,751	5,541	-64,235
st 25	22,32	21961,443	1223,815	-20737,628	113,497	-468,901
st 24	30,223	48731,515	7299,687	-41431,827	338,799	-2163,431
st 23	38,127	89080,74	2317,322	-86763,417	840,654	-6583,375
st 22	46,03	124964,316	3691,669	-121272,647	1666,871	-16324,278
st 21	53,934	153556,273	5704,251	-147852,022	2743,972	-33611,396
st 20	61,838	173939,875	112732,4	-61207,475	3315,871	-57884,491
st 19	69,741	187221,876	125122,8	-62099,076	3802,365	-86018,789
st 18	77,645	195849,844	133087,537	-62762,308	4295,012	-118020,906
st 17	85,548	201651,994	138135,849	-63516,145	4793,994	-153942,21
st 16	93,452	205005,409	140959,732	-64045,677	5297,706	-193828,868
st 15	101,355	206707,367	141795,499	-64911,869	5807,662	-237718,821
st 14	109,259	207588,11	141952,293	-65635,817	6323,43	-285662,844
st 13	117,162	207324,384	140992,883	-66331,5	-5804,281	-243056,726
st 12	125,066	206130,621	139173,377	-66957,244	-5277,424	-199268,641
st 11	132,969	203385,522	135819,834	-67565,688	-4745,097	-159666,447
st 10	140,873	197761,122	129318,861	-68442,261	-4207,626	-124291,891
st 9	148,777	188546,703	118034,263	-70512,44	-3660,101	-93199,927
st 8	156,68	174438,617	98734,447	-75704,169	-3086,533	-66522,637
st 7	164,584	154191,702	70498,256	-83693,446	-2459,064	-44574,201
st 6	172,487	129931,363	42081,78	-87849,582	-1773,944	-27833,639
st 5	180,391	104220,83	29109,994	-75110,836	-1119,062	-16476,048
st 4	188,294	77709,303	38223,177	-39486,126	-727,228	-9312,079
st 3	196,198	53032,158	26375,603	-26656,555	-494,796	-4617,407
st 2	204,101	34198,377	8409,291	-25789,086	-271,163	-1606,13
st 1	212,005	22124,991	0	-22124,991	-86,875	-209,852



- Shear = 721,347 kgx10^3 Position = 36,692 m

6. ESTABILIDAD EN AVERIAS

El estudio de estabilidad en averías se ha realizado según lo establecido en el reglamento ICG. En él, se establecen las dimensiones de una avería genérica en el fondo y en el costado, cuyas dimensiones, calculadas utilizando las dimensiones principales del buque de proyecto, son las siguientes:



Se ha considerado que, dado que de las situaciones de carga estudiadas para el buque intacto, la de mayor desplazamiento es la de salida a plena carga con carga pesada, sea en esta situación donde se estudie la estabilidad en averías, por considerarse los casos más desfavorables para la estabilidad. Adicionalmente, se han estudiado algunos casos de avería por tener un interés particular.

6.1.1 Requisitos

Según lo establecido por el MARPOL, se considera que los gaseros cumplen los requisitos de estabilidad después de avería si se satisfacen los siguientes requisitos:

- La flotación final (teniendo en cuenta la inmersión, la escora y el asiento) queda por debajo de cualquier abertura por la que pueda producirse una inundación progresiva.
- El ángulo de escora producido por la inundación asimétrica, no excederá de los 25°, si bien dicho ángulo podrá aumentarse hasta 30° si no se produce inmersión del canto de la cubierta.
- En el estudio de estabilidad, se considerará suficiente si la curva de brazos adrizantes tiene un alcance mínimo de 20° más allá de la posición de equilibrio, con un brazo adrizante residual máximo de, por lo menos, 0,1 m,

dentro de este margen de 20°. El área que quede dentro de la curva (brazo dinámico) dentro del margen no será menor de 0,0175 m·rad.

6.1.2 Permeabilidad

A los efectos de los cálculos de compartimentado y estabilidad con avería de las presentes reglas, la permeabilidad de cada uno de los espacios o parte de los mismos tendrá los valores que se indican a continuación:

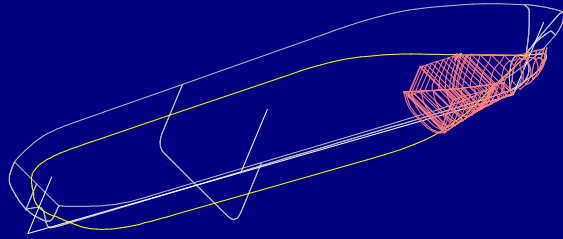
- Destinados a provisiones 0,60
- Ocupados como alojamientos 0,95
- Ocupados por maquinaria 0,85
- Espacios perdidos 0,95
- Destinados a carga seca 0,70
- Destinados a líquidos 0 ó 0,95

6.2. AVERIAS

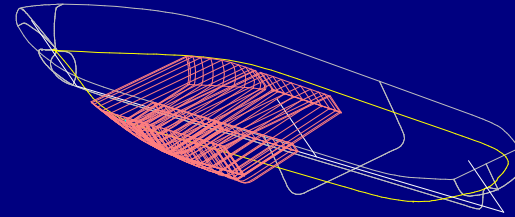
Considerando las dimensiones de las averías anteriormente expuestas se han estudiado las condiciones de inundación de los tanques que a continuación se indican:

- Avería 1: Inundación del Pique de Proa y tanque fuel oil de proa.
- Avería 2: Inundación del tanque n°4 y tanque fuel oil de proa.
- Avería 3: Inundación de tanques n° 3 y 4, fondos y laterales.
- Avería 4: Inundación del tanque n° 3 y 2, fondos y laterales.
- Avería 5: Inundación del tanque n° 2 y 1, fondos y laterales.
- Avería 6: Inundación del tanque n° 1, cámara de máquinas, fondos y lateral.
- Avería 7: Inundación del Pique de Popa y Cámara de Máquinas.

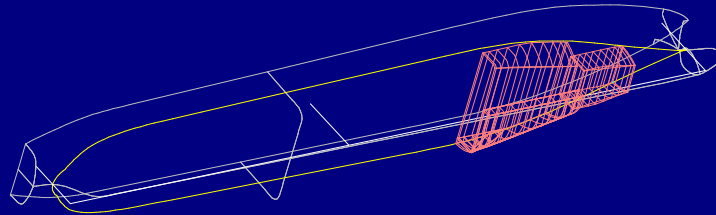
Avería 1



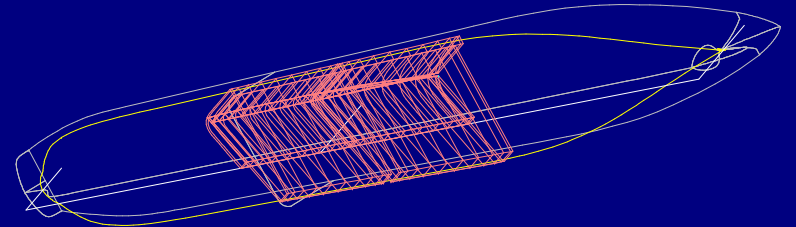
Avería 3



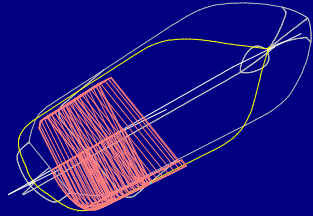
Avería 2



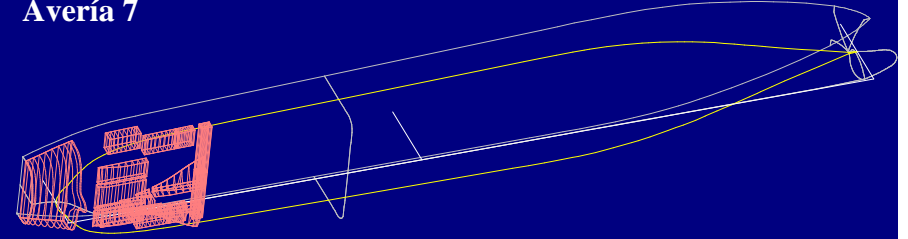
Avería 4



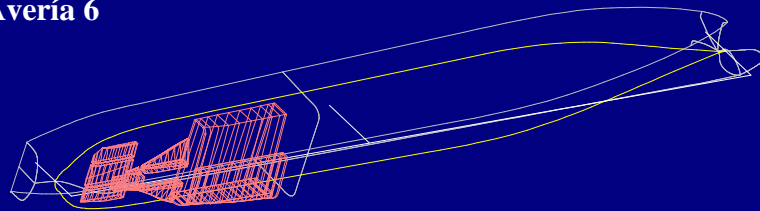
Avería 5



Avería 7



Avería 6



	Avería 1	Avería 2	Avería 3	Avería 4	Avería 5	Avería 6	Avería 7
Calado en maestra - m	9,727	9,103	9,745	9,969	9,776	9,51	9,201
Desplazamiento kg	43143210	37593348	32348053	30299715	31469904	37661913	42112558
Escora	0°	1,41° Starb.	8,35° Starb.	15,3° Starb.	13,29° Starb.	3,99° Starb.	0°
Calado en PProa m	10,607	8,342	10,498	11,03	10,489	10,558	11,864
Calado en PPopa m	8,846	9,863	8,992	8,907	9,063	8,462	6,538
Calado en LCF m	9,632	9,256	9,558	9,825	9,782	9,536	9,214
Trimado m	1,761 Fwd	1,521 Aft	1,506 Fwd	2,123 Fwd	1,426 Fwd	2,096 Fwd	5,326 Fwd
Eslora flotación m	202,16	212,635	202,531	206,667	205,888	201,555	200,146
Manga flotación m	32	32,01	32,344	33,176	32,88	32,078	32
Área mojada m ²	8210,199	8026,262	8252,483	8383,683	8297,246	8089,324	7820,044
Area flotación m ²	5202,12	4745,834	3905,654	3694,11	3820,013	4483,51	5034,169
Cp	0,673	0,593	0,504	0,45	0,481	0,602	0,674
Cb	0,621	0,555	0,415	0,325	0,357	0,543	0,556
Cm	0,984	0,953	0,827	0,724	0,748	0,902	0,964
Cf	0,804	0,697	0,596	0,539	0,564	0,693	0,786
KB m	5,218	4,929	5,087	5,352	5,288	5,119	5,031
KG m	10,565	10,577	10,599	10,665	10,649	10,61	10,028
BMt m	9,735	10,178	9,501	9,339	9,37	9,373	9,359
BML m	281,504	281,27	291,163	447,821	427,449	309,96	270,985
GMt m	4,388	4,53	4,004	4,075	4,047	3,884	4,361
GML m	276,157	275,623	285,666	442,557	422,125	304,471	265,988
KMt m	14,953	15,107	14,588	14,691	14,658	14,492	14,39
KML m	286,722	286,199	296,25	453,173	432,737	315,079	276,017
TPc Tonne/cm	53,332	48,654	40,041	37,872	39,163	45,965	51,61
MTc Tonne.m	580,632	504,962	450,339	653,493	647,396	558,831	545,891

PROYECTO FIN DE CARRERA N°1564

LNG MEMBRANA 51.000 m³

CUADERNO 10
EQUIPOS Y SERVICIOS



ENRIQUE DOPICO

TUTOR: Dn SEBASTIAN ABRIL PÉREZ

1. SERVICIOS DE GOBIERNO	2
1.1 SERVOMOTOR	2
1.2 HELICE DE MANIOBRA.....	2
2. SERVICIOS DE CUBIERTA	3
2.1. SERVICIOS DE FONDEO, AMARRE Y REMOLQUE.....	3
2.2 SERVICIOS DE BALDEO Y CONTRAINCENDIOS	10
2.3. SERVICIO DE ACHIQUE, LASTRE Y SENTINAS.....	15
2.4. SISTEMA DE SALVAMENTO.....	19
3. SERVICIOS DE HABILITACION.....	23
3.1. ACOMODACION.....	23
3.2. SERVICIOS SANITARIOS.....	24
3.3. COCINA Y OFICIOS.....	31
3.4. LAVANDERIA	31
3.5. GAMBUZA FRIGORÍFICA Y SECA.....	32
4. SERVICIO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE.....	33
4.1. COMPONENTES DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO ...	34
4.2. VENTILACIÓN MECÁNICA.....	34
5. SERVICIO DE NAVEGACIÓN Y COMUNICACIONES	40
5.1. EQUIPOS DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN	40
5.2. COMUNICACIONES EXTERIORES	41
5.3. COMUNICACIONES INTERIORES	42
6. EQUIPOS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN.....	43
7. SERVICIO DE CARGA Y ESTIBA	46
7.1. EQUIPOS	46
7.2.- OPERACIONES DE CARGA.....	61
8. EQUIPO DE MANTENIMIENTO Y MEDIOS DE ELEVACIÓN	66
8.1 TALLER DE MAQUINAS Y ELECTRICO	66
8.2 PUENTE GRUA PARA CAMARA DE MAQUINAS	66

1. SERVICIOS DE GOBIERNO

1.1 SERVOMOTOR

Su dimensionamiento fue determinado en el Cuaderno 5, Predicción de Potencia. Diseño del Timón y del Propulsor.

Se dispondrá un servomotor electrohidráulico de 4 pistones accionado por dos bombas hidráulicas cuyo consumo será de 40 kW. Este servomotor será capaz de girar el timón de 35° a una banda a 35° a la banda opuesta y de esta hasta un ángulo de 30° respecto a la primera en, como máximo, 28 segundos en la condición de plena carga y a la velocidad de pruebas.

El control del servomotor será eléctrico y tendrá duplicidad de sistemas. El servomotor deberá poder ser accionado manualmente en caso de emergencia operando sobre las electroválvulas del sistema hidráulico.

Deberá cumplir las normativas del IMO respecto a servomotores.

1.2 HELICE DE MANIOBRA

Se instalará una hélice de maniobra accionada demandando 1230 kW. Entre las disponibles en el mercado se ha elegido la siguiente:

Marca	SCHOTTEL
Modelo	STT 1010
Empuje	175 KN
Tipo	Cuatro palas fijas, accionada por motor eléctrico 60 Hz reversible con regulador de velocidad.
rpms motor max	1.170
Potencia	1.538 kW
Diámetro de la hélice	2.300 mm
Longitud del túnel	2.000 mm

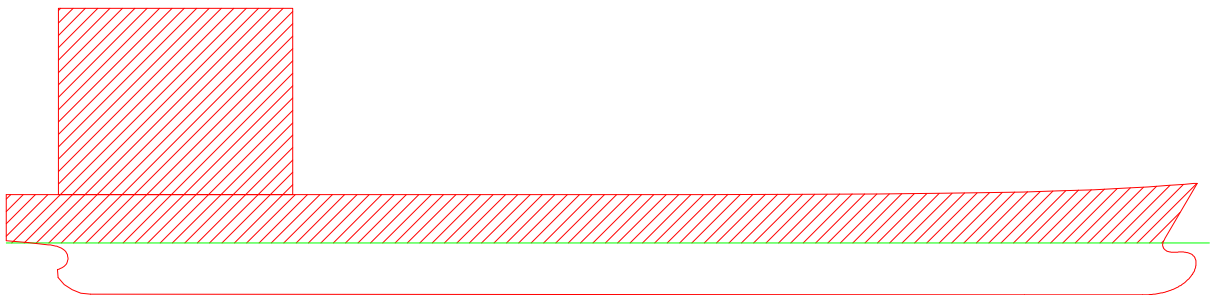
2. SERVICIOS DE CUBIERTA

2.1. SERVICIOS DE FONDEO, AMARRE Y REMOLQUE

Los cálculos de los medios de fondeo, amarre y remolque se realizan partiendo del numeral de equipo, *NE*. El numeral de equipo se define en la reglamentación del Bureau Veritas (BV) como:

$$NE = \Delta^{2/3} + 2 \cdot B \cdot H + A/10,$$

donde:



- Δ es el desplazamiento del buque en toneladas correspondiente a la flotación de verano.
- B es la manga de trazado en metros
- H es la altura desde la flotación hasta el techo de la caseta más alta que tenga una manga superior a $B/4$.

- A es el área en el plano de crujía por encima de la flotación, del casco y superestructuras de casetas con manga superior a $B/4$ (véase la figura).

Por tanto, si se consideran los siguientes valores para cada una de las anteriores variables:

$$\Delta = 45.574 \text{ Tm}$$

$$B = 32 \text{ m}$$

$$H = 41 \text{ m}$$

$$A = 3266 \text{ m}^2$$

El valor del numeral de equipo resulta igual a:

$$NE = 4.126,5$$

El numeral del buque esta entre 4000 y 4200 por lo que obtenemos el ancla y cadenas según la reglamentación.

2.1.1 Anclas

Se dispondrán dos anclas de servicio tipo Hall, de leva sin cepo, de acero fundido con un peso unitario aproximado de 12.300 kg. Se unirán a las cadenas mediante grilletes giratorios y eslabones de conexión.

Se dispondrá, además, un tercer ancla de idénticas características como respeto de los anteriores.

2.1.2 Cadenas

Se dispondrán 25 largos de cadena (687,5 metros de cadena en total) de 27,5 m de longitud. Las cadenas estarán fabricadas en acero de calidad extra especial K3, con lo que el diámetro nominal del eslabón se fijará en 81 mm, según BV.

Los largos de cadena se unirán por medio de eslabones de patente tipo Kenter con pasadores de acero inoxidable. El peso de cada largo será como mínimo de:

$$P_{\text{largo}} = 142 \text{ kg/m} \cdot 27,5 \text{ m/largo} = 3.905 \text{ kg/largo},$$

con una carga de rotura de 4.820 kN.

El peso total de la cadena será :

$$P_{\text{cadena}} = 25 \cdot 3905 = 97.625 \text{ kg}$$

2.1.3 Caja de cadenas

Se dispondrán dos caja de cadena en el pique de proa simétricas respecto a crujía. Serán de base cuadrada para facilitar su construcción, aunque es conocido que la cadena ocupará un menor volumen en una caja de cadenas cilíndrica, y las dimensiones de la misma obedecen al volumen que ocupa la cadena de cada banda.

El volumen que ocupa una cadena de longitud L en metros, formada por eslabones de diámetro d , en milímetros, viene dado por la siguiente expresión:

$$V_{CC} = 0,082 \cdot d^2 \cdot L \cdot 10^{-4} = 0,082 \cdot 81^2 \cdot \frac{687,5}{2} \cdot 10^{-4} = 18,49 \text{ m}^3.$$

En este volumen no está considerado el espacio para el drenado ni el de caída de la cadena o acceso a la caja, o sea, que a la altura de caja de cadenas determinada a partir de este volumen habrá de sumársele 1,6 metros (1,2 para caída de cadena y acceso y 0,4 para drenado). Cada una de las dos cajas de cadenas es de forma cuadrada, de dimensiones 1950 x 1950 mm, por tanto su altura mínima tendrá que ser :

$$h_{\text{min}} = V/(A) + 1,6 = 18,49/(1,950 * 1,950) + 1,6 = 6,46 \text{ m}$$

Se adoptará una altura de 6,5 metros para ambas cajas.

2.1.4 Estachas y cables

Se dispondrá un cable de remolque de una longitud de 300 m con una carga de rotura superior a 1471 kN.

Llevará 7 líneas de amarre con una carga de rotura mínima de 647 kN.

2.1.5 Elementos de amarre

Para las maniobras de amarre se montarán los siguientes elementos:

Cubierta del Castillo de Proa

- Siete bitas dobles de acero soldado, dos de ellas de 500 mm de diámetro nominal y el resto de 400 mm.
- Dos guías de tipo universal con rodillos horizontales y verticales.
- Cinco escobenes de tipo Panamá
- Ocho rodillos giratorios de eje vertical para reenvío de los cables de amarre.

Cubierta Principal - Popa

- Seis bitas dobles de acero soldado de diámetro nominal igual a 400 mm.
- Una bita doble de acero soldado de diámetro nominal igual a 800 mm.
- Seis guías de tipo universal con rodillos horizontales y verticales
- Nueve escobenes de tipo Panamá
- Cuatro rodillos giratorios de eje vertical para reenvío de los cables de amarre.

2.1.6 Molinetes

Se dispondrán a bordo 2 molinetes electrohidráulicos monoanclas (ya que el diámetro del eslabón es superior a 74 mm.) para las maniobras de fondeo y leva de las anclas, situados uno a cada banda de manera que permitan el correcto estibamiento de la

cadena en la caja de cadenas. Cada uno de los molinetes instalados en la cubierta del castillo de proa dispondrá de un barbotén de acero fundido para el manejo de la cadena del ancla y de un tambor de tensión constante.

Para el cálculo de la potencia del molinete, en caballos, se utilizará la expresión que determina la potencia que se requiere en la situación de izado, que es:

$$P_{MOL} = \frac{0,87 \cdot (P_C + P_A) \cdot v \cdot f}{60 \cdot 75 \cdot r},$$

donde el significado de las distintas variables y sus valores típicos se muestran a continuación:

- P_A es el peso del ancla fuera del agua en kg.
- P_C es el peso de cuatro largos de cadena fuera del agua en kg.
- v es la velocidad de izado en metros por minuto ($8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} < v < 12 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).
- f es el coeficiente de rozamiento entre el estopor y el escobén ($f = 2$).
- r es el rendimiento mecánico del molinete ($0,5 < r < 0,7$)

Se tomarán los valores correspondientes a los pesos y rozamientos y los valores medios para la velocidad y el rendimiento, con lo que la potencia que debe suministrar el molinete será pues:

$$P_{MOL} = \frac{0,87 \cdot (4 \cdot 3905 + 12.300) \cdot 9 \cdot 2}{60 \cdot 75 \cdot 0,6} = 162 \text{ CV}$$

de modo que se instalarán a bordo dos molinetes con una potencia unitaria de 162 CV, con lo que la potencia eléctrica en kW de cada uno de los motores eléctricos que se encargarán de alimentar a los molinetes será la siguiente (suponiendo un rendimiento electrohidráulico de un 90 %):

$$P_{E\text{ MOL}} = \frac{162 \cdot 0,735}{0,9} = 132,25 \text{ kW}.$$

La potencia requerida para zarpar el ancla del fondo es superior a la que se necesita para izar la cadena y el ancla en las condiciones anteriormente detalladas, puesto que es necesario vencer el poder de agarre del ancla. Dado que la potencia nominal del molinete se ha determinado en la situación de izado, la velocidad del mismo en la situación de zarpar el ancla del fondo, v_1 , será inferior a la velocidad de izado anteriormente supuesta v . Para los valores medios considerados anteriormente, la relación entre ambas velocidades estará dada por la siguiente expresión:

$$\frac{v}{v_1} = 1 + \frac{e \cdot P_A}{0,87 \cdot (P_C + P_A)},$$

donde los valores de todas las variables son ya conocidos, tomando como poder de agarre $e = 2$. Por lo tanto, sustituyendo por los valores ya conocidos se obtiene que:

$$\frac{v}{v_1} = 1 + \frac{2 \cdot 12.300}{0,87 \cdot (4 \cdot 3.905 + 12.300)} = 2,013$$

y, en consecuencia:

$$v_1 = \frac{9}{2,013} = 4,47 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}.$$

Durante el trayecto del buque se puede dar la situación de que, por una mala mar o un mal trincaje de la cadena, se suelte la cadena y queden colgando la cadena y el ancla. El molinete, en su velocidad corta, deberá ser capaz de izar todos los largos de cadena y el ancla. Por lo tanto, la velocidad corta del molinete deberá responder a la siguiente expresión:

$$v_c = \frac{P_{MOL} \cdot 60 \cdot 75 \cdot r}{0,87 \cdot (P_{CTOTAL} + P_A)}.$$

Sustituyendo los valores en la expresión anterior se llega a que la velocidad corta del molinete es:

$$v_c = \frac{162 \cdot 60 \cdot 75 \cdot 0,6}{0,87 \cdot (13 \cdot 3.905 + 12.300)} = 7,972 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}.$$

Esta velocidad es superior a la velocidad en la situación de zarpar, v_1 , por lo que será esta última la velocidad mínima del molinete.

Se dispondrán además dos estopores de rodillo provistos de mordazas para trincar las cadenas entre los barbotenes y el escobén. Se instalarán este tipo de estopores debido a que disminuyen el rozamiento de la cadena en la boca del escobén.

2.1.7 Escoben

El diámetro interno de la bocina del escobén (D_{ESC}) viene tabulado para diversos valores del diámetro del redondo del eslabón (d), es decir 81 mm, de acuerdo con la fórmula:

$$D_{ESC} = [(100 - d) \cdot 0,03867 + 7,5] \cdot d$$

Así pues, operando podemos concluir que el diámetro del escobén deberá ser igual a

$$D = 667 \text{ mm}.$$

Se pondrá especial cuidado en la localización de la bocina del escobén puesto que se trata de un buque con bulbo de proa. Se dotará de los nervios de refuerzo necesarios a la chapa de acero de la boca del escobén para compensar los esfuerzos y desgastes que sufre esta zona debido al rozamiento con la cadena.

2.1.8 Chigres de amarre de proa

Se instalarán a bordo dos maquinillas dobles de tensión constante y una fuerza de 15 toneladas a 18 m·min⁻¹. Si se supone un rendimiento del equipo de 0,7, la potencia absorbida por el mismo será de:

$$P_{MPR} = \frac{15 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 18}{60 \cdot 0,7} \cdot 10^{-3} = 63 \text{ kW}.$$

Se dispondrán pues dos maquinillas electrohidráulicas de 63 kW.

2.1.9 Chigres de amarre de popa

Se instalarán a bordo dos maquinillas dobles de tensión constante y una fuerza de 15 toneladas a 18 m·min⁻¹. Si se supone un rendimiento del equipo de 0,7, la potencia absorbida por el mismo será de:

$$P_{MPR} = \frac{15 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 18}{60 \cdot 0,7} \cdot 10^{-3} = 63 \text{ kW}.$$

Se dispondrán pues dos maquinillas de 63 kW.

2.2 SERVICIOS DE BALDEO Y CONTRAINCENDIOS

De acuerdo con la Regla 4 del SEVIMAR no es necesario que en los buques de carga la capacidad total de las bombas contraincendios, aparte de la de emergencia, exceda de 180 m³/h. Por otra parte, la misma Regla establece que cada una de las bombas contraincendios, con excepción de las de emergencia, tendrán una capacidad no inferior al ochenta por ciento de la capacidad total exigida dividida por el número de bombas.

La Regla 52 especifica que en todo buque de arqueo bruto igual o superior a 1000 toneladas habrá al menos dos bombas contraincendios de accionamiento independiente y si el arqueo bruto es igual o superior a 2000 toneladas deberá existir una tercera bomba de emergencia de accionamiento eléctrico alimentada por el cuadro de socorro.

Para el cumplimiento de estas disposiciones se instalarán tres bombas de igual capacidad, una de ellas de emergencia. Sus características son:

2.2.1 Bombas Contraincendios

Las características generales de estas bombas se resumen a continuación:

Bombas Contraincendios	
Número	2
Servicio	1
Tipo	Centrífuga (rendimiento = 0,68)
Caudal	140 m ³ ·h ⁻¹
Altura efectiva	100 m.c.a.
Densidad fluido	1025 kg/m ³
Rendimiento	0,7
Potencia absorbida	55 kW

2.2.2. Bombas Jockey

Bomba Jockey	
Tipo	Centrífuga Accionamiento eléctrico alimentado por el generador de emergencia (rendimiento = 0,7)
Caudal	40 m ³ ·h ⁻¹
Altura efectiva	100 m.c.a.
Densidad del fluido	1025 kg/m ³
Rendimiento eléctrico	0,7
Potencia demandada	16 kW

2.2.3. Bombas Spray agua

Bomba Spray Agua	
Tipo	Centrífuga Accionamiento eléctrico alimentado por el generador de emergencia (rendimiento = 0,7)
Caudal	310 m ³ ·h ⁻¹
Altura efectiva	100 m.c.a.
Densidad del fluido	1025 kg/m ³
Rendimiento eléctrico	0,7
Potencia demandada	120,6 kW

2.2.4. Bombas Contraincendios de emergencia

Debe tener una capacidad no inferior al 40% de la capacidad total de las bombas de las reglas contraincendios y en todo caso no debe ser menor de 25 m³/h, en nuestro caso:

$$Q = 490 \cdot 0,4 = 196 \text{ m}^3/\text{h}.$$

<i>Bomba Contraincendios de emergencia</i>	
Tipo	Centrífuga Accionamiento eléctrico alimentado por el generador de emergencia (rendimiento = 0,7)
Caudal	196 m ³ ·h ⁻¹
Altura efectiva	100 m.c.a.
Densidad del fluido	1025 kg/m ³
Rendimiento	0,7
Potencia demandada	76.2 kW

2.2.5. Colector Contraincendios

Se dispondrá un colector contraincendios con un diámetro interior mínimo para el colector principal, que asegurará una velocidad del agua en su interior no superior a 2 m/s.

$$D_i = 2 \cdot \left(\frac{140 + 40 + 310 + 196}{2 \cdot \pi \cdot 3600} \right)^{1/2} = 0,348 \text{ m} = 348 \text{ mm}$$

Este valor nos sirve de referencia para elegir alguno de los disponibles en el mercado.

2.2.4. Mangueras de contraincendios

Según lo establecido en la Regla 4 del SOLAS deberán colocarse mangueras a razón de una cada 30 m de eslora del buque más una de respeto. Esto obliga a disponer 7 mangueras más otra de respeto (sin incluir entre ellas a las exigidas en Cámara de máquinas o en calderas).

Estarán dispuestas en lugares bien visibles y tendrán 15 m y un diámetro de 65 mm. Al menos dos chorros de agua procedentes de distintas bocas contraincendios alcanzarán a cualquier parte del buque normalmente accesible.

Las mangueras de intemperie estarán en cajas metálicas, las de interior se dispondrán en cajas de madera y las de Cámara de Máquinas sin cajas. Los acoplamientos de mangueras, bocas contraincendios y boquillas serán de bronce.

2.2.5. Extintores portátiles

Se instalarán 18 extintores de CO₂ y 31 de polvo seco que cumplan con los requisitos establecidos en la Regla 6 del SOLAS y distribuidos de forma que den cobertura a todas las zonas principales del buque.

Tal y como se menciona más adelante se instalarán extintores de espuma en la Cámara de Máquinas y en la de la Caldera de unos 45 l y 135 l respectivamente y cargas de respeto.

2.2.6. Sistema de spray de agua en cubierta

El sistema de spray de agua en cubierta es instalado para suministrar agua en caso de fuego producido por gas en algunos puntos del buque. Las bombas de agua spray suministran agua a los rociadores en las zonas protegidas.

Las zonas protegidas por el sistema de spray son las siguientes:

- Los manifold
- Domo de gas y domo de líquido en cada tanque
- Local de compresores de carga
- Zona exterior de la superestructura expuesta a la zona de carga
- Zona de bote salvavidas

El número de rociadores en cada zona varía dependiendo de su posición y superficie de la zona a proteger.

2.2.6. Sistema de extinción de incendios por CO₂ (REGLA 5)

Se dispondrá una instalación fija de CO₂, común para todos los espacios y que dará cobertura a los locales siguientes:

- Cámara de máquinas.
- Cámara de purificadoras.
- Cámara de calderas.
- Local del servomotor.
- Local del generador de emergencia.
- Pañol de pinturas.

De acuerdo con la Regla 8 del SEVIMAR, la cantidad de CO₂ disponible será suficiente para dar un volumen mínimo de gas libre igual o mayor que el 35% del volumen de la cámara de máquinas, incluido el guardacalor.

El volumen de la Cámara de Máquinas es de 8652,5 m³, por tanto, conforme a la Regla 8, las disponibilidades de anhídrido carbónico deberán ser como mínimo de 3028,375 m³. La misma Regla establece el volumen específico del CO₂ en 0,56 m³/kg y, por consiguiente, la masa necesaria de este gas será:

$$MCO_2 = 3028,375 / 0,56 = 5407,8 \text{ kg}$$

Así pues el número de botellas de anhídrido carbónico, de 45 kg cada una, será:

$$NCO_2 = 5407,8 / 45 = 120 \text{ botellas}$$

Las botellas serán almacenadas en un local situado en la cubierta por encima de la cubierta de francobordo (19,015m). Los accesos, mamparos y cubierta límites del compartimento serán estancos al gas.

Asimismo, se instalará un sistema automático de rociadores, alarma y detección de incendios en cámara de máquinas y habitación. Será del sistema de tuberías llenas. Los indicadores de alarma estarán agrupados en el puente de gobierno.

2.2.7. Sistema de contraincendios para Cámara de Máquinas

Se dispondrán los siguientes equipos de contraincendios para Cámara de Máquinas:

- Sistema de CO₂
- Extintor de espuma

Sistema de CO₂ en Cámara de Máquinas

Se determina llevar 100 botellas de CO₂ de 45 kg cada una.

Extintor de espuma en Cámara de Máquinas

Se dispondrán seis extintores de espuma portátiles y un equipo extintor aire/espuma que, según lo indicado en las Reglas II-2-A-7.2 y II-2-A-6.4, deberá tener una lanza que pueda ser conectada al colector contraincendios con una manguera contraincendios, así como dos tanques portátiles que contengan 20 l de espumógeno, siendo uno de ellos de respeto.

2.3. SERVICIO DE ACHIQUE, LASTRE Y SENTINAS

Se proyectará de manera que permita achicar cualquier local estanco, por lo menos por una aspiración, cuando el buque, con asiento normal, está adrizado o escorado menos de 5°. Para este fin se instalarán, tanto en las bodegas como en la cámara de máquinas, pozos de achique y aspiraciones en las esquinas de cada banda. En los compartimentos de agua de lastre el emplazamiento de las aspiraciones será tal que los trasiegos de agua de mar puedan realizarse convenientemente en las condiciones normales de explotación del buque.

Los circuitos de achique y lastre serán independientes entre sí y de los circuitos de aceite, combustible y demás cargas líquidas. En cambio, las bombas serán compartidas por los dos servicios.

2.3.1 Colector principal de sentinas.

El diámetro interior de la tubería principal de sentinas no será inferior a lo que se exige por la siguiente fórmula, con aproximación de 5 mm, pero en ningún caso el diámetro deberá ser menor que el requerido para cualquier aspiración secundaria de sentinas:

$$d = 1,68 \cdot 9 \cdot [L \cdot (B + C)]^{1/2} + 25 \text{ (mm)}$$

donde:

L = Eslora entre perpendiculares, en m:	206 m.
B = Manga del buque, en m:	32 m.
C = Puntal a la cubierta de francobordo, en m:	19,015 m.

Por tanto, el diámetro interior del colector habrá de ser:

$$d = 1,68 \cdot [206 \cdot (32 + 19,015)]^{1/2} + 25 = 197,2 \text{ mm}$$

Se instalará un colector de 207,2 mm de diámetro exterior y 5 mm de espesor, con lo que tendrá un diámetro interior de 197,2 mm que cumple con los requisitos exigidos.

2.3.2 Bombas de lastre y sentina.

Se instalarán dos bombas cuyo caudal será tal que cada una pueda siempre imprimir al agua, en el colector principal, una velocidad mínima de 122 m/min, lo que equivale a decir que la capacidad de la bomba, en m³/h, será:

$$Q_{\min} = 5,75 \cdot 10^{-3} d^2 \text{ m}^3/\text{h}$$

siendo:

d = diámetro interior del colector principal en mm.

Por tanto en nuestro caso será:

$$Q_{\min} = 5,75 \cdot 10^{-3} \cdot 197,2^2 = 223,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

<i>Bombas de Lastre</i>	
Número	2
Servicio	1
Tipo	Centrífuga autocebada (rendimiento = 0,75)
Caudal	450 m ³ ·h ⁻¹
Altura efectiva	25 m.c.a.
Densidad fluido	1025 kg/m ³
Rendimiento eléctrico	0,9
Potencia absorbida	46,5 kW

Las bombas centrífugas autocebadas de caudal elevado y poca presión, como son éstas, tienen el inconveniente de que se desceban cuando la cantidad a achicar es pequeña. Por esta razón se instalarán una tercera bomba, alternativa, para achicar de la cámara de máquinas las pérdidas de los circuitos interiores, de las bodegas el agua que haya podido entrar desde el exterior cuando las escotillas estaban abiertas y para ultimar el deslastrado de los tanques. Las características de esta bomba son las que siguen:

2.3.3 Bomba de sentinas

<i>Bombas Sentinas</i>	
Número	1
Servicio	1
Tipo	Alternativa (rendimiento = 0,46)
Caudal	40 m ³ ·h ⁻¹
Altura efectiva	30 m.c.a.
Densidad fluido	1025 kg/m ³
Rendimiento eléctrico	0,9
Potencia absorbida	8,1 kW

2.3.4 Separador de sentinas.

Se dispondrá de un equipo separador de agua - aceite - combustible, tal que las descargas que se efectúen al mar tengan un contenido en hidrocarburos inferior al 100 p.p.m.

Este separador descargará el agua tratada al mar y el resto de compuestos, los residuos, los descargará al tanque de lodos.

Se dispondrá también un monitor de descarga de hidrocarburos que mida el contenido de éstos en el agua tratada.

Bomba de Separador de Sentinas	
Número	1
Servicio	1
Tipo	Centrífuga (rendimiento = 0,5)
Caudal	10 m ³ ·h ⁻¹
Altura efectiva	30 m.c.a.
Densidad fluido	950 kg/m ³
Rendimiento eléctrico	0,9
Potencia absorbida	2 kW

2.3.5 Pozos de Sentinas

Cámara de Máquinas

Se dispondrá de un pozo de sentinas a popa de cámara de máquinas y dos a cada banda y a proa de cámara de máquinas.

Cámara de Bombas

Se dispondrá de un pozo de sentinas en cada extremo de la cámara, es decir, dos a proa y dos a popa simétricos y a cada banda.

Compartimento del Servomotor

Se dispondrán dos aspiraciones en sendos pozos situados a popa del compartimento, uno a cada banda.

Caja de Cadenas

Se dispondrá una bomba manual, capaz de aspirar tanto agua como el fango que arrastre la cadena, fuera de la caja de cadenas. Cabe resaltarse que se dispondrá de un sistema de limpieza de la cadena compuesto por una serie de grifos ubicados en el escobén.

2.4. SISTEMA DE SALVAMENTO

El equipo de salvamento deberá igualmente cumplir con los requisitos establecidos por el SOLAS en su Capítulo III (Dispositivos y Medios de Salvamento) y los de otras Entidades Reguladoras aplicables.

El equipo de salvamento debe constar de los siguientes elementos:

- Botes salvavidas y su equipo.
- Bote de rescate y servicio.
- Pescante para botes salvavidas.
- Balsas salvavidas.
- Aros salvavidas.
- Chalecos salvavidas
- Otros.

Todos los dispositivos mencionados deberán contar con la aprobación de la Administración y cumplir satisfactoriamente las pruebas necesarias para comprobar que cumplen con lo establecido en el SOLAS y su correspondiente normativa. Estas pruebas podrán realizarse durante la fabricación y una vez instalado a bordo el equipo.

Se considerará en los siguientes apartados que la habilitación está diseñada para 20 personas que conforman la tripulación. Se ha dispuesto que pueden viajar otras 3 personas más.

2.4.1. Botes Salvavidas y su Equipo

Se dispondrá un bote salvavidas de plástico reforzado con fibra de vidrio que cumpla todos los requisitos del SOLAS y con capacidad suficiente para 23 personas. La instalación de un solo bote salvavidas de caída libre por la popa del buque, como se da en este caso, está permitida por el SOLAS, para los buques de carga, en la regla 31.1.2.1

El bote tendrá un motor Diesel de potencia suficiente para alcanzar los 6 nudos a plena carga y en aguas tranquilas y con posibilidad de ser arrancado eléctrica y manualmente. Será de tipo cerrado y su flotabilidad estará asegurada por tanques estructurales rellenos de espuma.

2.4.2. Bote de Rescate y Servicio

Se dispondrá un bote de rescate de plástico reforzado con fibra de vidrio, con capacidad para seis personas y propulsado con motor diesel capaz de alcanzar 6 nudos de velocidad.

Igualmente se dispondrá de un pescante para arriar e izar este bote.

2.4.3. Pescante para Botes Salvavidas

Se instalará una rampa de deslizamiento y un pescante de gravedad para el bote salvavidas, de acero y apto para soportar el bote lleno hasta su máxima capacidad.

El izado y arriado del bote se llevará a cabo por medio de un motor de accionamiento eléctrico o electrohidráulico y se suministrarán los aparejos completos dichas operaciones de los botes salvavidas. La velocidad aproximada de lanzamiento, con el bote vacío será de aproximadamente 4 m·min⁻¹.

Al nivel en que está colocado el bote salvavidas, se deberá disponer una plataforma de embarque de aproximadamente 1200 mm con una escalera de acceso. Tanto ésta como la rampa de lanzamiento deberán estar diseñadas para soportar el nivel de vibraciones que pudiera originarse durante la operación.

2.4.4. Balsas Salvavidas

Se dispondrá una balsa salvavidas autohinchable a cada banda del buque y situadas al nivel de la Cubierta “A”, con una capacidad cada una de 23 personas. Además se instalará otra balsa salvavidas en proa, en la cubierta del castillo, con capacidad para seis personas. Todo ello de acuerdo con lo establecido por el SOLAS en su Artículo 31.1.2.2.

Habrán dos pescantes operados manualmente para el lanzamiento de las balsas dispuestas en la Cubierta y todas ellas totalmente equipadas y alojadas en recipientes de plástico reforzado con fibra de vidrio y herméticamente cerrados.

2.4.5. Aros Salvavidas

Se instalará un mínimo de doce aros salvavidas de los cuales dos, uno a cada banda y según lo establecido en la Regla 7, estarán provistos de una rabiza flotante de 30 m de largo. La mitad de ellos estarán provistos de luces de encendido automático y dos de ellos estarán además dotados de señales fumíferas de funcionamiento automático y dispuestos en las proximidades del puente. Según lo establecido en la normativa los aros que estén provistos de rabiza flotante no deberán llevar ni luces ni señales fumíferas.

2.4.6. Chalecos Salvavidas

La zona de habilitación estará dotada de 23 chalecos salvavidas con artefactos luminosos; además se dispondrá de un total de 15 chalecos en las inmediaciones de las balsas y próximos a los puestos de guardia (cámara de máquinas y puente). Todos ellos estarán guardados en cabinas de plástico reforzado con fibra de vidrio.

2.4.7. Otros

- Se dispondrá de un aparato lanzacabos capaz de lanzar a 230 m como mínimo, según lo establecido en la Regla III-B-18.
- Se dispondrán doce cohetes lanzabengalas de socorro instalados en una caja de acero situada en el puente de navegación o cerca de éste, según lo dispuesto en la Regla III-B-6.3.
- Los equipos de comunicaciones requeridos por el SOLAS en su Regla 6 del Capítulo III-B y, que serán objeto de un estudio más detallado en otros apartados del Proyecto Fin de Carrera y de los que cabe destacar los siguientes:
- Dispositivos radioeléctricos de salvamento: aparatos radiotelefónicos bidireccionales; dos respondedores de radar.
- Sistema de comunicaciones interiores y sistema de alarmas completado con un sistema megafónico que cumpla con la normativa establecida, etc.

3. SERVICIOS DE HABILITACION

3.1. ACOMODACION

3.1.1. Mamparos Divisorios, Forros y Revestimientos

Se dispondrán mamparos de acero, costados y techos, en camarotes, despachos, comedores, salas de estar, sala de conferencias, gimnasio, puente de gobierno, hospital, telegrafía, oficinas, pasillos y escaleras. Los mamparos serán forrados de material ignífugo.

Los mamparos que limiten los espacios citados, y no sean de acero, serán alternativamente todos de clase B o bien sólo donde se requiera.

Los costados y los mamparos de acero que limitan los espacios anteriores irán forrados con paneles de material clase B de 22 mm de espesor mínimo.

3.1.2. Puertas Interiores

Donde se pueda, abrirán hacia dentro de los compartimentos. Las puertas interiores serán de plástico reforzado resistente e ignífugo; en los espacios refrigerados serán de poliéster reforzado.

3.1.3. Escaleras Interiores y Pasamanos

Serán construidas en acero. Si se encuentran en espacios forrados, se revestirán con el mismo material. Tendrán pisaderas antiderrapantes.

3.1.4. Mobiliario y Tapicería

El tipo de mobiliario y decoración será funcional. Los muebles dentro de cada espacio serán de diseño uniforme y estarán en consonancia con los lugares que ocupan.

El mobiliario se fijará a las cubiertas y los mamparos, según proceda.

3.1.5. Otros

Se dispondrá moqueta de fibra sintética en los pisos de los alojamientos del Capitán, Jefe de Máquinas, 1^{er} Oficial y 1^{er} Maquinista, en el comedor y sala de estar de oficiales y en la sala de conferencias y sala del armador, en el resto será loseta asfáltica.

Se dispondrán tableros de anuncios y rótulos en los lugares oportunos.

Por exigencias de la reglamentación se dispondrán los siguientes equipos, armamento e instalaciones:

- Accesorios de cierre: puertas metálicas, accesos y portillos. Escotillas de acceso y lumbreras.
- Dispositivos, letreros, placas, etc.
- Escalas, escaleras pasamanos y plataformas.
- Habitación de la cámara de control de la cámara de máquinas.

3.2. SERVICIOS SANITARIOS

3.2.1 Generador de agua dulce.

La capacidad del generador debe ser tal que satisfaga la demanda de los diversos usuarios y compense las pérdidas de los circuitos de agua dulce y vapor. El agua sanitaria necesaria se puede estimar en:

$$0,585 \cdot N \text{ (T/d)}$$

donde N es el número de tripulantes. Dado que la tripulación se compone de 20 miembros y considerando un margen de seguridad del 25 %, las necesidades de agua se evalúan en:

$$1,25 \cdot 0,585 \cdot 20 = 14,625 \text{ T/día}$$

Se instalará en el buque un generador de 15 T/día, el cual, para producir el agua dulce, utilizará el calor disipado en el sistema de refrigeración de camisas del motor principal. De acuerdo con el fabricante, la cantidad de calor disponible en el punto de optimización del motor viene dada por la expresión:

$$Q_{jw,O} = Q_{L1} \cdot q_{jw}\% / 100 \cdot 0,9 \text{ (kW)}$$

siendo:

Q_{L1} = Calor disipado en el enfriador de agua dulce de camisas cuando el motor se encuentra funcionando a la potencia máxima continua nominal.

$q_{jw}\%$ = Porcentaje de corrección obtenido de la gráfica del Project Guide del motor

En nuestro caso tenemos que:

$$Q_{L1} = 4.860 \text{ kW}$$

$$q_{jw}\% = 93\%$$

En consecuencia:

$$Q_{jw,O} = 4.860 \cdot 93/100 \cdot 0,87 = 3932,23 \text{ kW}$$

La cantidad de calor disponible en el punto de servicio del motor se obtiene como:

$$Q_{jw} = Q_{jw,0} \cdot k_p$$

siendo k_p un factor corrector que en nuestro caso es aproximadamente 0,8

Así pues, el calor disponible para la generación de agua dulce será:

$$Q_{jw} = 3932,23 \cdot 0,8 = 3145,8 \text{ kW}$$

Si se utiliza un generador de agua dulce del tipo evaporador por vacío de simple efecto, la producción de agua se puede estimar en 0,03 T/día por cada kW, por tanto, la máxima cantidad que se puede producir es:

$$Mad = 0,03 \cdot 3145,8 = 94,4 \text{ T/día}$$

Por tanto, las necesidades de calor para el generador de agua dulce quedan suficientemente cubiertas (ya que tenemos más de 15 T/día) con el calor disipado por el sistema de refrigeración de camisas del motor principal.

Estará situado junto a los tanques de agua dulce.

3.2.2 Tanques de Agua Dulce

Para almacenar la producción de agua dulce sanitaria se habilitará un tanque que dimensionaremos de forma que cumpla con las necesidades de agua dulce básicas de la tripulación en caso de avería del generador durante el periodo de navegación.

Consumo mínimo persona/día 200 l/d

Máximo periodo navegación 14,68 días

Número de tripulantes 20

Coefficiente de seguridad 1,25

Volumen del tanque = $1,25 \cdot 200 \cdot 14,68 \cdot 20 = 36.700 \text{ l} = 72 \text{ m}^3$

Se habilitarán dos tanques almacén de agua dulce, cada uno de ellos con una capacidad neta de 55 m³ que cumplen con los requerimientos anteriores.

3.2.3. Tanque hidróforo

Se instalará un tanque de presión cuya capacidad viene dada por la expresión siguiente:

$$V = (h_1 + h_2 - h_5 + h_3 + 10)/h_3 \cdot (0,36 \cdot N/2)/(2 \cdot n) \quad (\text{m}^3)$$

siendo:

h_5 = Altura sobre la línea base del tanque hidróforo, en metros.

n = Número máximo de arranques que puede tener la bomba de alimentación del tanque hidróforo.

N = Número de tripulantes del buque.

Los valores a utilizar son:

h_1 = 41 m; altura de la cubierta más elevada

h_2 = 5 mca; pérdidas de carga en tuberías

h_3 = 20 mca; diferencia entre presión de arranque y parada

h_4 = 16 m; altura del tanque de almacenamiento

h_5 = 16 m; altura del tanque de hidróforo

n = 10 arranques/hora

N = 20 tripulantes

con los que se obtiene el siguiente resultado:

$$V = 0,54 \text{ m}^3 = 540 \text{ litros.}$$

Este volumen debe ser incrementado un 10% para dejar una zona de decantación. En definitiva se opta por instalar un tanque de 594 litros de capacidad.

3.2.4 Bomba eyectora del generador de agua dulce

Es la encargada de proporcionar el vacío necesario para la destilación del agua. Sus características serán las siguientes:

Unidades instaladas: 1

Unidades en servicio: 1

Tipo: Centrífuga accionada por motor eléctrico.

Caudal: 60 m³/h

Presión de descarga: 4 bar

Densidad del fluido: 1025 kg/m³

Potencia del motor: 11,4 kW

3.2.5. Bombas de Agua Dulce Sanitaria

Suponiendo que en la punta de consumo un 50% de la tripulación utiliza un servicio con un gasto de 0,1 litros/segundo, el caudal de la bomba habrá de ser:

$$Q = N/2 * 0,1 * 3600/1000 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

donde N es el número de tripulantes. Así pues:

$$Q = 20/2 * 0,36 = 3,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

La bomba debe ser capaz de elevar el agua desde el tanque almacén hasta el servicio más alto, pasando por el tanque hidróforo. El aseo más elevado se encuentra en el puente de gobierno a una altura de 21,94 metros sobre la cubierta principal. La presión diferencial que debe tener la bomba viene dada por la expresión:

$$P = h_1 + h_2 + h_3 - h_4 \text{ (mca)}$$

siendo:

h_1 = Altura sobre la línea base de la salida de agua del servicio más elevado.

h_2 = Pérdidas de carga de la tubería más un ligero incremento para que el agua salga por el servicio más alto con algo de presión, expresadas en metros de columna de agua.

h_3 = Diferencia entre la presión de arranque y parada de la bomba de alimentación del tanque hidróforo, expresada en metros de columna de agua.

h_4 = Altura sobre la línea base del tanque almacén de agua sanitaria.

Los valores a emplear son los siguientes:

$$h_1 = 41\text{m}$$

$$h_2 = 5 \text{ mca}$$

$$h_3 = 20 \text{ mca}$$

$$h_4 = 16 \text{ m}$$

con lo que la presión de la bomba resulta:

$$P = 41 + 5 + 20 - 16 = 50 \text{ mca}$$

Se instalarán dos bombas de las características siguientes:

Unidades instaladas: 2

Unidades en servicio: 1

Tipo: Centrífuga accionada por motor eléctrico.

Caudal: 4,5 m³/h

Presión de descarga: 50 mca \approx 5 bar

Densidad del fluido: 1000 kg/m³

Potencia del motor: 1,5 kW

3.2.6. Calentador de Agua Dulce Sanitaria

La unidad de agua caliente estará constituida por un calentador por vapor, provisto también con sistema de calentamiento eléctrico, de 300 litros y con capacidad para elevar la temperatura del agua hasta los 60 °C y por dos bombas de circulación de agua caliente. Estará conectada al equipo hidróforo de agua dulce. El consumo del calentador eléctrico se estima en 12 kW.

3.2.7. Bomba de Circulación de Agua Caliente

Las características de las bombas son las siguientes:

Unidades instaladas: 2

Unidades en servicio: 1

Tipo: Centrífuga accionada por motor eléctrico.

Caudal: 2 m³/h

Presión de descarga: 5 bar

Densidad del fluido: 1000 kg/m³

Potencia del motor: 1 kW

3.2.8. Aseos

La disposición de los aseos se encuentra reflejada en el plano de disposición general adjunto con el proyecto. Los aseos de los camarotes dispondrán de lavabo y ducha con servicio de agua fría y agua caliente.

3.2.9 Potabilizadora/Esterilizadora.

Se instalará una planta potabilizadora y esterilizadora del agua obtenida en el generador de agua dulce, de 1000 l/h de capacidad. El consumo eléctrico se estima en 0,1 kW.

3.2.10 Planta de tratamiento de aguas residuales.

Se dispone una planta con una capacidad de 3.5 m³/día, apta para la depuración de las aguas residuales de una tripulación de 20 miembros. Su consumo eléctrico es de 2.1 kW.

3.3. COCINA Y OFICIOS

En la cocina del buque se dispondrán, entre otros, de los siguientes equipos:

- Una cocina eléctrica con cuatro placas calientes, dos hornos y accesorios pertinentes (20 kW).
- Un horno eléctrico completo con pedestal, para panadería o asados, con regulador de temperatura (5 kW).
- Un frigorífico de 0,3 m³ de capacidad aproximada (0,5 kW).
- Un horno grill.
- Una parrilla, una freidora y un abrelatas eléctrico (2 kW).
- Una peladora de patatas (unos 5 kg de capacidad) (0,5 kW).
- Un armario y mesas de acero inoxidable.
- Equipo para procesar los desperdicios y una trituradora.

En el oficio de oficiales y en el de tripulación se dispondrá de:

- Calentador de agua (50 litros de capacidad).
- Dos o tres tostadoras de pan.
- Un frigorífico (unos 300 litros de capacidad).
- Una cafetera.
- Lavaplatos (para 30 servicios).
- Calienta platos.
- Recipiente para la basura.
- Una pileta, un armario y una estantería.

3.4. LAVANDERIA

El buque dispondrá de una lavandería para la tripulación dispuesta en la cubierta A.

El equipo de lavandería estará constituido por tres lavadoras eléctricas para 7 kg de ropa cada una y una secadora para 8 kg. El consumo conjunto se evalúa en 25 kW.

3.5. GAMBUZA FRIGORÍFICA Y SECA

3.5.1. Gambuza Frigorífica

Tendrá una capacidad para 70 m³. Estará aislada con poliuretano expandido, con un coeficiente medio de transmisión de 0,5 kCal·m⁻²·h⁻¹·°C⁻¹, y las juntas serán de goma blanda.

Estará dividida en antecámara a unos 2 °C, cámara de vegetales a unos 2 °C, cámara de pescado a unos -24 °C, cámara de carne a unos -18 °C y cámara de lácteos a unos 2 °C. Estas cuatro últimas cámaras tendrán puertas a la antecámara y a través de ésta se accederá a la gambuza frigorífica.

Se dispondrá de una máquina para producir unos 2 kg·h⁻¹ de hielo.

Se dispondrá de señales de alarma óptica y acústica para señalar la existencia de un hombre encerrado en la gambuza frigorífica.

Para dar servicio a toda la gambuza se dispondrá de una planta de enfriamiento de expansión directa capaz de trabajar a una temperatura ambiente de 40 °C (equipos frigoríficos, compresores, condensadores, evaporadores, etc.).

3.5.2. Gambuza Seca

Se dispondrán seis armarios de acero galvanizado, tres de acero inoxidable, una báscula de hasta 300 kg, repisas, potro para carne, mesa pilet y colgador de cuchillos.

La grúa dispuesta en babor junto a la salida de dicha gambuza, se utilizará para el transporte de alimentos de las gambuzas a las cocinas.

4. SERVICIO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

El objeto de este servicio es mantener el aire en el interior de los locales en unas condiciones adecuadas de temperatura, grado de humedad y composición química, esto es, con suficiente oxígeno, libre de polvo y olores, todo ello con independencia de las condiciones atmosféricas exteriores. La instalación se diseña de forma que permita el control de las variables mencionadas durante todo el año.

El sistema más habitual en los buques de carga es la instalación centralizada con un solo conducto. El tratamiento térmico de aire se efectúa exclusivamente en la unidad de aire acondicionado donde una mezcla de aire exterior y aire recirculado es enfriada y deshumedecida en verano, y calentada y humedecida en invierno. La corriente de aire se produce con varios ventiladores instalados en un local especialmente preparado para un completo aislamiento acústico. El aire es distribuido a continuación a través de los conductos a los espacios que se quiere acondicionar. Al final de cada conducto hay un difusor con su correspondiente válvula de regulación de flujo para reducir la presión de salida del aire y los ruidos.

El tratamiento térmico del aire está controlado por un equipo de regulación automática centralizado. La temperatura de cada local es fácilmente regulable por los ocupantes haciendo variar el flujo de salida. Una parte del caudal de aire es llevada de nuevo al acondicionador a través de los pasillos para su recirculación y otra es expulsada al exterior a través de los extractores de los aseos, cocinas, etc.

La refrigeración se efectúa mediante un sistema por expansión directa mientras que el calentamiento del aire se realiza por medio de vapor.

Se dispondrá de aire acondicionado en los siguientes locales:

- Camarotes y oficinas
- Salones y comedores
- Puente de gobierno
- Hospital y enfermería

4.1. COMPONENTES DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

El sistema de aire acondicionado que se instala es del tipo de alta presión, constituido por un compresor de 70 kW, un condensador y una unidad de acondicionamiento operada con vapor y Freón-22. La unidad, con una capacidad de 500 m³ por tripulante y hora, una presión estática de 200 mca y un consumo eléctrico de 19 kW, estará diseñada para las condiciones siguientes:

En invierno:

- Exterior:

Temperatura: -5°C

Humedad relativa: 50%

- Interior:

Temperatura: 22°C

Humedad relativa: 50%

En verano:

- Exterior:

Temperatura: 35°C

Humedad relativa: 70%

- Interior:

Temperatura: 25°C

Humedad relativa: 50%

4.2. VENTILACIÓN MECÁNICA

4.2.1. Ventilación de espacios de acomodación y casco

➤ **Impulsores y extractores de cocina, gambuza y lavandería.**

Los cálculos de los caudales y potencias de los ventiladores a instalar se realizarán en base a conseguir en cada local las renovaciones de aire indicadas a continuación:

Local	RENOV./H	
	Impulsión	Extracción
Gambuza	natural	10
Lavandería	natural	10
Cocina	60	80

Se instalará un impulsor axial de 6000 m³/h y 40 mmca de presión con un consumo de 2 kW. Asimismo se dispondrán tres extractores axiales de 45 mmca de presión y con los siguientes caudales y potencias:

Gambuza: 2000 m³/h y 1,3 kW

Lavandería: 800 m³/h y 0,5 kW

Cocina: 8000 m³/h y 5,3 kW

➤ **Extractores en aseos y pañoles.**

La impulsión será natural, mientras que la extracción de aire se calculará para conseguir 10 renov/h.

Se instalarán dos unidades centrífugas de 1500 m³/h, 165 mmca y 1,2 kW de consumo cada uno.

➤ **Ventilación del local del grupo de emergencia.**

La impulsión se calculará para conseguir 30 renv/h mientras que la extracción de aire se calculará para conseguir 10 renov/h.

Se instalará un ventilador de impulsión de 1300 m³/h y 40 mmca, con una potencia de 0,9 kW.

Se instalará también un extractor axial de 500 m³/h y 40 mmca, con una potencia de 0,3 kW.

➤ **Extractor del local de baterías.**

La impulsión será natural, mientras que la extracción de aire se calculará para conseguir 20 renov/h.

La extracción la llevará a cabo una unidad axial de 200 m³/h, 40 mmca y 0,15 kW.

➤ **Extractor del local de CO₂.**

La impulsión será natural, mientras que la extracción de aire se calculará para conseguir 20 renov/h.

Se instalarán tres unidades axiales de 1000 m³/h, 25 mmca y 0,6 kW.

➤ **Extractor del local de aire acondicionado.**

La impulsión será natural, mientras que la extracción de aire se calculará para conseguir 20 renov/h.

Se instalarán dos unidades axial de 1400 m³/h, 40 mmca y 0,9 kW.

➤ **Extractor del cuarto de control de carga.**

La impulsión será natural, mientras que la extracción de aire se calculará para conseguir 20 renov/h.

Se instalará una unidad axial de 3000 m³/h, 40 mmca y 2 kW.

➤ **Ventilación del local de servomotor.**

La impulsión se calculará para conseguir 10 renv/h mientras que la extracción de aire se calculará para conseguir 15 renov/h.

Se instalará un ventilador de impulsión de 1000 m³/h y 45 mmca, con una potencia de 0,6 kW.

Se instalará también un extractor axial de 1400 m³/h y 45 mmca, con una potencia de 0,9 kW.

➤ **Ventilación del local de la hélice de proa.**

La impulsión se calculará para conseguir 10 renv/h mientras que la extracción de aire se calculará para conseguir 15 renov/h.

Se instalará un ventilador de impulsión de 3200 m³/h y 60 mmca, con una potencia de 2,2 kW.

Se instalará también un extractor axial de 4800 m³/h y 60 mmca, con una potencia de 3,5 kW.

4.2.2. Ventilación de cámara de máquinas

➤ **Impulsores y extractores de cámara de máquinas.**

El aire en la cámara de máquinas cumple básicamente dos funciones: suministrar el oxígeno necesario para la combustión en motores y calderas, y refrigerar el ambiente. El número de renovaciones por hora en cámara de máquinas será de 30, y no se efectuará recirculación de este.

Como valores aproximados para un primer cálculo puede estimarse unas necesidades de aire para combustión en caldera de:

$$2 * 1.220 \text{ m}^3/\text{min} = 146.400 \text{ m}^3/\text{h}$$

El calor radiado y convectado por la turbina y auxiliares a la cámara de máquinas se estimará como un 1,5% de la potencia nominal de la turbina. En el caso de los generadores y motores eléctricos las pérdidas en calor se estiman en un 8% de la potencia eléctrica generada. En el servicio de vapor las pérdidas por radiación, fugas y otros conceptos se estiman en un 3% de la potencia térmica de la caldera. Por tanto, el calor total generado en la cámara de máquinas será:

$$\text{Turbina de Vapor:} \quad 0,015 \cdot 14.700 \text{ kW} = 220,5 \text{ kW}$$

$$\text{Generadores y motores eléctricos:} \quad 0,08 \cdot 2.000 \text{ kW} = 160 \text{ kW}$$

$$\text{Servicio de vapor:} \quad 0,03 * 3.843 \text{ kW} = 115,3 \text{ kW}$$

Calor total generado:

$$Q_g = 220,5 + 160 + 115,3 = 496 \text{ kW} = 426.380 \text{ kcal/h}$$

El caudal de aire necesario para la evacuación del calor generado en máquinas puede ser estimado por la siguiente fórmula:

$$CA = 3 * Q_g / (T_m - T_e)$$

donde:

Q_g = Calor generado en kcal/h.

$T_m - T_e$ = Diferencia de temperaturas entre la cámara de máquinas y el exterior.

Considerando una diferencia de temperaturas del orden de 10° C, el caudal de aire necesario será:

$$CA = 3 \cdot Q_g / 10 = 3 \cdot 426.380 / 10 = 127.914 \text{ m}^3/\text{h}$$

Así pues, el caudal total de aire necesario para combustión y para evacuación del calor disipado en la cámara de máquinas será:

$$CA = 146.400 + 127.914 = 274.314 \text{ m}^3/\text{h}$$

En consecuencia, se instalarán 4 impulsores centrífugos de 50.000 m³/h, con una presión diferencial de 50 mmca y 35 kW de potencia por unidad.

En lo referente a la extracción, se debe tener en cuenta que el aire suministrado para la combustión sale de la cámara de máquinas por sus propios conductos y, por tanto, las necesidades de extracción se reducen al caudal suministrado para evacuación de calor. Así pues, se instalarán en la parte alta de la cámara de máquinas dos extractores centrífugos de 65.000 m³/h de capacidad, 50 mmca de presión diferencial y 44 kW de potencia por unidad.

➤ **Extractor en el local de purificadoras.**

Se instalará un extractor centrífugo con un caudal nominal de 17000 m³/h, presión estática de 40 mm.c.a y una potencia de 3,45 kW.

5. SERVICIO DE NAVEGACIÓN Y COMUNICACIONES

5.1. EQUIPOS DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN

Se dispondrán a bordo los aparatos de navegación electrónicos que se citan a continuación, siguiendo las reglas y requerimientos de las firmas fabricantes. Este equipo estará preparado para funcionar con corriente alterna a 220 V / 50 Hz, obtenida a partir de la corriente primaria generada a bordo a través de transformadores. A continuación se citan los aparatos instalados a bordo:

- Un compás magnético de tipo líquido con dispositivo óptico de reflexión y con carta graduada de 0° a 360°. Estará dotado de un sistema que permite proporcionar señal a los repetidores y al piloto automático.
- Un girocompás compacto con conexión al giropiloto automático, al radar de movimiento verdadero, a los repetidores y al grabador de curso. Dispondrá de cuatro repetidores instalados.
- Un giropiloto automático de gobierno para control manual y automático con los instrumentos para poder utilizarlo en los dos modos descritos.
- Un radar de movimiento verdadero con las siguientes características: 10 cm w.l., 25 kW de potencia máxima, pantalla de 16'' y escáner. Dispondrá de una unidad ARPA instalada.
- Un radar de movimiento relativo con las siguientes características: 3 cm w.l., 25 kW de potencia máxima, pantalla de 12'' y escáner.
- Un sistema de navegación por satélite G.P.S. (Global Position System)
- Una ecosonda con el registrador gráfico y un indicador en la consola de navegación.

- Una corredera de tipo magnético.
- Un radiogoniómetro de tipo marino para las bandas de MF (225-525 kHz) e IF (1600-3800 kHz).
- Un indicador eléctrico angular de la posición del timón con tres repetidores.

Además se procederá a la instalación de los siguientes equipos para ayudas a la navegación:

- Un sextante.
- Un cronómetro y un megáfono.
- Dos binoculares para visión diurna y otros dos para visión nocturna.
- Campanas de alarma de acuerdo con la reglamentación del SOLAS.
- Un gong y una bocina de niebla.
- Un barómetro y un barógrafo.
- Dos termómetros para medir la temperatura del aire exterior y la temperatura del mar.
- Un psicrómetro.

5.2. COMUNICACIONES EXTERIORES

Los equipos estarán diseñados para trabajar con corriente alterna a 220 V / 50 Hz. Se dispondrán a bordo los aparatos necesarios para el equipo de comunicaciones del buque con el exterior (comunicaciones con tierra o con otros buques). Este sistema cumplirá con los requerimientos para GMDSS internacionalmente aceptados. Entre otros dispondrá de los siguientes aparatos:

- Un equipo de comunicación vía satélite (Standard A).
- Una estación de radio que incluirá los siguientes aparatos:
- Un transmisor principal y otro de emergencia.

- Un receptor principal y otro de emergencia, con capacidad de recepción de señales de radio, télex y facsímil para cartas meteorológicas.
- Una autoalarma radiotelefónica UHF / FM.
- Un panel de distribución y control.
- Un transmisor principal y otro de emergencia.
- Dos radiobalizas de emergencia (EPIRBS).
- Un sistema Navtex.
- Dos radioteléfonos VHF con DSC.
- Tres radioteléfonos VHF portátiles para los botes salvavidas.

5.3. COMUNICACIONES INTERIORES

Los equipos estarán diseñados para trabajar con corriente alterna a 220 V / 50 Hz. El equipo de comunicaciones interiores estará compuesto por los siguientes aparatos:

- Un telégrafo de órdenes en puente y cámara de máquinas.
- Un sistema de interfonos de cubierta con unidades en el puente de mando y en las zonas de fondeo y amarre de proa y popa.
- Un sistema de órdenes y avisos generales con altavoces en zonas de paso, habilitación, cubierta y cámara de máquinas. El puesto de mando de este sistema se situará en el puente.
- Un sistema automático de doce teléfonos que enlazará el puente de gobierno con algunos espacios tales como cámara de máquinas, despacho del capitán, despacho del jefe de máquinas, local del servomotor, cocina, etc.
- Se instalará un potente claxon asociado al teléfono en cámara de máquinas.
- Tres equipos de comunicaciones UHF de tipo “walkie-talkie” para la comunicación con las áreas de manejo de la carga.
- Pulsadores luminosos en las gambuzas frigoríficas con actuación sobre alarmas ópticas y acústicas dispuestas en la cocina.

6. EQUIPOS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

Se dispondrán diversos sistemas de indicadores, control y alarma para los equipos de cámara de máquinas, planta de carga, equipos de navegación y otros equipos instalados a bordo del buque.

El sistema de control y alarma instalado en cámara de máquinas cumplirá con los requerimientos del Bureau Veritas.

Además se dispondrán los sistemas de automatización típicos en este tipo de buques que permiten la complete operatividad del buque con una tripulación reducida. Todos los instrumentos y aparatos de automatización y control serán diseñados para su máxima operatividad. Su graduación estará en unidades del Sistema Internacional de Unidades (S.I.). La placa de identificación y las instrucciones se grabarán en idioma inglés.

Se dispondrán los siguientes equipos de automatización y control en el puente de gobierno:

- Control de velocidad de la turbina de vapor.
- Control del equipo de gobierno.
- Panel de alarmas general.
- Sistema de aviso a ingenieros y jefe de máquinas.
- Sistema de detección y alarma contraincendios en cámara de máquinas, habitación, zona de carga y espacios comunes.
- Indicadores de nivel de los tanques.

En cuanto a los equipos que se dispondrán en la cámara de máquinas serán instalados en una sala de control insonorizada con aire acondicionado. Entre los equipos que se dispondrán cabe citar los siguientes:

- Una mesa de control para el control remoto del motor principal, con los correspondientes indicadores, alarmas y niveles. Se dispondrá un sistema de

emergencia de control manual para su uso en caso de fallo del sistema de control remoto.

- Un cuadro de conmutación principal y un centro de control de los motores.
- Un sistema centralizado de alarmas.
- Un sistema agrupado de transmisión de alarmas.
- Un sistema de aviso a ingenieros y jefe de máquinas.
- Un sistema de automatización y control de la planta de generación eléctrica.
- Un sistema de arranque-parada automático de los compresores principales.
- Un regulador de nivel del agua de alimentación de la caldera auxiliar así como un control automático de los quemadores.

Se dispondrá también a bordo un sistema de detección de incendios con alarma automática centralizado en el puente de gobierno. Dispondrá de detectores de incendios en cámara de máquinas, así como detectores de humo en habitación y zonas comunes que cumplirán con los requisitos del BV.

Este sistema ocasionará la parada por control remoto de ventiladores, bombas de aceite y bombas de combustible y el cierre de válvulas de fuel oil. Asimismo, se activarán los mecanismos de activación de CO₂ en cámara de máquinas y cámara de bombas y de la propia operación de las bombas contraincendios en condiciones de seguridad para la tripulación exigidas por el SOLAS ante una emergencia de este tipo.

Se dispondrá un sistema de alarma centralizado en cámara de máquinas con indicadores luminosos individuales para cada canal en una consola de control.

Se dispondrá un sistema de control automático para la planta de generación eléctrica que será capaz de desempeñar las siguientes operaciones:

- Arranque automático del generador de stand-by.
- Sincronización reparto de cargas automáticos.
- Arranque y conexión del generador de emergencia en caso de fallo en la planta de suministro principal.

Por último, mencionar otros sistemas de control que se instalarán a bordo del buque:

- Sistema de control automático de temperatura del tanque de inspección de las calderas de la planta de generación de vapor.
- Control de combustión y alimentación de agua de calderas.
- Control automático de temperatura de los calentadores de las purificadoras.
- Control automático del sistema de aire comprimido.
- Control automático de la salinidad del generador de agua dulce.

Control y regulación automática del sistema de climatización.

7. SERVICIO DE CARGA Y ESTIBA

7.1. EQUIPOS

7.1.1. Equipos de los tanques de carga:

Cada tanque dispone en su zona de popa de un domo líquido por el cual penetran las tuberías en el tanque. Forman una torre trípode usada como acceso y la cual tiene instalada las bombas de carga.

En la zona central cada tanque dispone de un domo de gas para la exhaustación del gas y como elemento de seguridad.

Cada tanque está equipado con:

- 2 electrobombas sumergidas, cuya descarga se realiza por dos de las tuberías que forman la estructura trípode de la torre.
- 1 conducto para la instalación de la electrobomba de emergencia. Esta tubería es la tercera pata de la estructura de la torre.
- 1 electrobomba sumergida para el vaciado total del tanque con tubería de descarga independiente (en caso de avería del tanque o visita al astillero para revisión).
- 1 columna para la toma de nivel del tanque.
- 1 conducto con indicador flotante de nivel.
- 5 sensores de temperatura a diferentes alturas.
- 2 sensores de temperatura para niveles altos o muy altos de llenado.

7.1.2. Sistema de tuberías de carga:

Este sistema incluye los manifolds de carga y descarga, colectores longitudinales y sus ramales hacia los domos de los tanques y a la caseta de maquinaria de carga. Este sistema incluye también las líneas que van hacia la cámara de máquinas para realizar la combustión del gas.

Los manifolds de carga y descarga están constituidos por dos tuberías de conexión de

líquido cada una de las cuales está dividida en dos partes, una a cada banda con una conexión de 16'' y una tubería de conexión de vapor también de 16'' a cada banda.

Estos manifolds están situados a la altura del tanque número 3 en una plataforma sobre la cubierta superior tanto a estribor como a babor (las conexiones para la carga de HFO, MDO, MGO, nitrógeno líquido y agua dulce también están dispuestas en estas plataformas).

Los colectores principales se emplean para carga líquida, carga gaseosa, venteo de emergencia y distribución de nitrógeno.

Existen cuatro mástiles, uno por cada tanque; el colector principal de vapor está conectado con el mástil de venteo número 1 y tanto el colector de carga líquida como el de venteo pueden ser conectados a este mástil durante las operaciones previas y posteriores a la carga.

7.1.3 Equipos de carga en caseta de maquinaria de carga:

Los equipos instalados en este local son los siguientes:

- 2 compresores de alta capacidad, los cuales son empleados para el retorno del gas a tierra durante la carga y también en las operaciones de enfriado y calentamiento.
- 2 compresores de baja capacidad, empleados para el trasiego de gas a las calderas.
- 1 separador previo al compresor de baja capacidad, para evitar las gotas de gas licuado.
- 2 calentadores de boil off. Estos calentadores tienen dos funciones, la de calentar el gas antes de la entrada en cámara de máquinas y calentar el gas durante el calentamiento de tanques.
- 1 evaporador principal empleado para evaporar gas natural licuado, y si es necesario nitrógeno líquido, para el llenado o inertización de tanques.
- 1 evaporador para producir evaporación forzada.
- 2 bombas de vacío para producir vacío en los aislamientos de los tanques.
- En la cámara de máquinas también se dispone de maquinaria empleada para la carga. Estos equipos son:
 - 1 generador de gas inerte, empleado para la inertización de los tanques de carga.

- 2 generadores de nitrógeno empleados principalmente para los espacios aislantes de los tanques.

7.1.4. Equipos de la barrera aislante primaria y secundaria:

Los equipos de estos espacios consisten principalmente en tuberías empleadas para mantener la presión del nitrógeno y su composición. También dan acceso a los cables de los sensores de temperatura. Estas tuberías de acceso están localizadas en los coferdan y del domo gas.

Los equipos de la barrera aislante primaria están compuestos por 6 tuberías que penetran a través del coferdan y una que lo hace a través del domo gas.

Los equipos de la barrera aislante secundaria están formados por dos tuberías conectadas al fondo del tanque y que se emplean como sumideros del agua condensada en la barrera aislante. A través del fondo del tanque también existen dos tuberías que suministran el nitrógeno a este espacio.

En el techo del tanque también se dispone de dos tuberías para el suministro de nitrógeno. También se dispone del domo de gas como se ha mencionado anteriormente.

La barrera aislante secundaria dispone de sensores de temperatura dispuestos para detectar los cambios de temperatura. Los cables de los sensores penetran en la barrera secundaria mediante cajas aisladas.

7.1.5. Maquinaria de carga:

A continuación procedemos al detallar el equipo mencionado anteriormente.

Bombas de carga:

Cada tanque de carga dispone de dos bombas de carga principal y una bomba de vaciado de tanque situada permanentemente en la parte baja de la torre de bombas. El

buque dispone de una bomba de emergencia estibada en el pañol de cubierta y que puede ser usada si es necesario en cualquier tanque donde se produzca una avería. Por ello, cada tanque dispone de un acceso de 24'' por el cual se descende la bomba de emergencia. Todas las bombas son de tipo sumergido. El motor eléctrico está inmerso en la carga y refrigerado por el gas licuado. La electricidad empleada es de 3.300 V, 60 Hz trifásica para las bombas de carga principales y 440 V, 60 Hz trifásica para las bombas de vaciado de tanques.

Las bombas de carga principales son empleadas para la descarga del LNG y funcionarán en paralelo. En la siguiente tabla se presentan las características de las bombas y motores:

Bomba principal de carga
Líquido LNG
Temperatura operación - 163°C
Densidad específica 0,5
Caudal operación 700 m ³ /h
Caudal máximo 940 m ³ /h
Caudal mínimo 362 m ³ /h
Altura operación 150 m
Motor eléctrico
Tipo Vertical sumergido
Potencia 205 kW
Velocidad 1.800 rpm

Las bombas están controladas por el sistema IAS. Las condiciones que producen el disparo de las bombas son las siguientes:

- Corriente elevada.
- Baja corriente.
- Fallo eléctrico.
- Alto nivel en el tanque.
- Bajo nivel en el tanque.

➤ Baja presión en el tanque.

Las bombas de vaciado se emplean para el vaciado de los tanques, para la operación de spray por la que se consigue enfriar los tanques y para suministrar LNG a los evaporadores. Las características de estas bombas son las siguientes:

Bomba vaciado spray
Líquido LNG
Temperatura operación - 163°C
Densidad específica 0,5
Caudal operación 40 m ³ /h
Caudal máximo 49,7 m ³ /h
Caudal mínimo 13,3 m ³ /h
Altura operación 150 m
Motor eléctrico
Tipo Vertical sumergido
Potencia 12 kW
Velocidad 3.600 rpm

Estas bombas cuentan con el mismo sistema de control y disparo que las anteriores. En este caso también se produce el disparo cuando se cierran las válvulas de gas.

La bomba de emergencia tiene las siguientes características:

Bomba emergencia
Líquido LNG
Temperatura operación - 163°C
Densidad específica 0,5
Caudal operación 220 m ³ /h
Caudal máximo 275 m ³ /h
Caudal mínimo 65 m ³ /h
Altura operación 150 m
Motor eléctrico

Tipo Vertical sumergido
Potencia 64 kW
Velocidad 3.600 rpm

Esta bomba es controlada por el sistema IAS y sus disparos son los mismos que los de las bombas principales de carga.

Compresores:

El buque está equipado con 4 compresores de carga, dos de alta capacidad y dos de baja capacidad, localizados en la caseta de maquinaria de carga. El diseño de ambos tipos de compresores es idéntico, la única deferencia está en la capacidad y en la velocidad de control.

Son compresores centrífugos con capacidad de aumentar la velocidad de 3.600 rpm hasta las 12.000 o 24.000 rpm. Están accionados por motores eléctricos situados en la cámara de motores eléctricos y separados de los compresores mediante un mamparo estanco al gas. El compresor centrífugo junto al sistema integral de lubricación es montado junto al motor eléctrico en una misma plataforma. El acoplamiento del eje y el paso desde la cámara de motores ala cámara de maquinaria de carga es sellado por un anillo de carbón flotante. El sellado del gas es controlado por el sistema de control de presión y temperatura.

Los compresores de alta capacidad se emplean para el retorno del gas a tierra durante la carga funcionando en paralelo, también se emplean durante el enfriamiento de tanque, el calentamiento y cuando es necesario en la inertización. Las características de los compresores son:

Compresor de alta capacidad
Fluido Metano
Caudal másico 23.200 kg/h
Caudal 15.000 m ³ /h
Temperatura succión De -140°C a -20°C
Presión aspiración 106 kPa

Temperatura descarga De -105°C a 70°C
Presión descarga 196 kPa
Potencia requerida 365 kW

El compresor de alta capacidad es controlado y puesto en marcha por el IAS mediante sistema electrónico, pero puede ser puesto en marcha localmente mediante un panel.

Los disparos del compresor son los siguientes:

- Alto nivel tanque.
- Baja presión aspiración.
- Alta temperatura de descarga.
- Alta temperatura de acoplamiento.
- Altas vibraciones.
- Block out.
- Baja presión de aceite.
- Alta temperatura de sellado en el mamparo.
- Baja presión del sellado del mamparo.

Los dos compresores de baja capacidad se emplean para enviar el gas que se empleara como combustible en las calderas. Mientras un compresor está en marcha el otro está en espera. Las características de los compresores de baja capacidad son:

Compresor de baja capacidad
Fluido Metano
Caudal másico 6.610 kg/h
Caudal 4.000 m ³ /h
Temperatura succión De -140°C a -40°C
Presión aspiración 106 kPa
Temperatura descarga De -105°C a 10°C
Presión descarga 196 kPa
Potencia requerida 155 kw

El compresor de baja capacidad es controlado y puesto en marcha por el IAS mediante un sistema electrónico, pero puede ser puesto en marcha localmente mediante un panel.

Los disparos del compresor son los siguientes:

- Alto nivel tanque.
- Baja presión aspiración.
- Alta temperatura de descarga.
- Alta temperatura de acoplamiento.
- Altas vibraciones.
- Block out.
- Baja presión de aceite.
- Alta temperatura de sellado en el mamparo.
- Baja presión del sellado del mamparo.

Calentadores de gas:

El buque está equipado con dos calentadores de gas localizados en la caseta de maquinaria de carga. Cada calentador puede ser usado para calentar el gas para la combustión o el gas para el calentamiento de tanques. Durante la combustión del gas solo un calentador estará en funcionamiento, pero durante el calentamiento los dos calentadores estarán funcionando en la descarga de los dos compresores de alta capacidad. Estos calentadores son de tipo red y tubos siendo los tubos de tipo U. El gas fluye en los tubos y el vapor de calentamiento fluye en la red.

Calentador de gas
Gas para combustión Calentamiento de tanques
Caudal gas 4.000 kg/h 12.000 kg/h
Temperatura entrada -110°C
Temperatura salida 25°C máximo 80°C
Intercambio de calor 342 kW 1.062 kW
Flujo vapor 610 kg/h 1.895 kg/h
Temperatura entrada vapor 179°C

Temperatura salida vapor 174°C
Presión vapor 9 bar

La temperatura es controlada por el sistema IAS actuando sobre las válvulas de entrada de gas. Si no es necesario pasar por el calentador se realiza un bypass. El disparo de los calentadores se produce cuando:

- Alto nivel en el condensador de vapor.
- Baja temperatura en el condensador de vapor.

Evaporador principal:

El evaporador principal esta situado en la caseta de maquinaria de carga. Principalmente se emplea para evaporar gas natural licuado cuando es remplazado el gas inerte por vapor de gas natural después de realizar las operaciones de carga. El evaporador se puede emplear en la evaporación de gas natural durante la descarga cuando la línea de retorno de vapor no está disponible. También se puede emplear para evaporar nitrógeno líquido cuando sea necesario inertizar los tanques de carga. El diseño de este evaporador es muy similar al de los calentadores de gas. Las características son:

Evaporador Principal
Llenado de gas Descarga de gas
Caudal gas 5.800 kg/h 10.000 kg/h
Temperatura entrada -163°C
Temperatura salida 20°C -130°C
Intercambio de calor 1.392 kW 1.628 kW
Flujo vapor 2.484 kg/h 2.905 kg/h
Temperatura entrada vapor 179°C
Temperatura salida vapor 174°C
Presión vapor 9 bar

La temperatura es controlada por el sistema IAS actuando sobre las válvulas de entrada de gas. El disparo de los calentadores se produce cuando:

- Alto nivel en el condensador de vapor.
- Baja temperatura en el condensador de vapor.

Evaporador forzado:

El buque dispone de un evaporador forzado situado en la caseta de maquinaria de carga. Este evaporador se emplea para evaporar gas natural licuado y así producir una mayor cantidad de combustible cuando las calderas demanden mayor cantidad que la producida por el boil off natural.

También se pueden utilizar para evaporar el líquido derramado en el aislante debido a una fuga de líquido en la barrera primaria. El diseño de este evaporador es muy similar al del evaporador principal. Las características del evaporador forzado son:

Evaporador Forzado
Gas para combustión
Caudal gas 3.475 kg/h
Temperatura entrada -163°C
Temperatura salida -40°C
Intercambio de calor 764 kW
Flujo vapor 1.363 kg/h
Temperatura entrada vapor 179°C
Temperatura salida vapor 174°C
Presión vapor 9 bar

Los disparos del evaporador forzado son los siguientes:

- Alto nivel en el condensador de vapor.
- Baja temperatura en el condensador de vapor.
- Alta presión en el colector principal de vapor.
- Alto nivel en el separador de niebla de gas.

Todo el sistema está controlado por el sistema IAS.

Separador de niebla de gas:

El buque dispone de un separador de niebla en la caseta de maquinaria de carga. El empleo de este separador es para proteger los compresores de baja capacidad frente a las pequeñas gotas que pueden ser arrastradas por la línea de vapor de gas. El separador de niebla es un cilindro vertical con dos entradas de gas, una salida en la parte superior y un drenaje con un indicador de nivel. Las características del separador son las siguientes:

Separador niebla
Caudal másico 3.475kg/h
Caudal 3.600 m ³ /h

Bombas de vacío:

Dos motores eléctricos accionan dos bombas de vacío de desplazamiento positivo que están situados en la casta de maquinaria de carga. El motor eléctrico está situado en la cámara de motores eléctricos. Se emplean en la fase inicial de inertización de los espacios de aislamiento, para así eliminar la contaminación en la barrera primaria del aislante o para reducir la presión de los espacios del aislamiento. Las características de las bombas son:

Bombas de vacío
Caudal 750 m ³ /h
Presión 200 mbar absolutos
Potencia motor 17 kW
Velocidad 1.200 rpm

Las bombas de vacío se accionan localmente y se disparan en caso de:

- Baja temperatura de succión.
- Alta temperatura de descarga.
- Dispositivos internos de la bomba.

7.1.6. Generador de nitrógeno:

La unidad de generación de nitrógeno se basa en el sistema Prism Alpha Nitrogen que permite segregar O₂, CO₂ y H₂O mediante una membrana separadora encerrada en un depósito a presión. El sistema completo, instalado en la cámara del servomotor, incluye dos unidades idénticas y un tanque de almacenaje de nitrógeno a presión. Cada módulo está formado por:

- Modulo de la membrana separador e instrumentación.
- Calentador eléctrico.
- Compresor aire alimentación.

El generador está diseñado para un funcionamiento automático. En condiciones normales una unidad estará en funcionamiento mientras que la otra está en espera, pero durante el enfriamiento de los tanques de carga las dos unidades funcionarán en paralelo. Las características de los generadores son:

Generador nitrógeno
Capacidad generación 2x90 m ³ /h
Pureza nitrógeno 97% en volumen
Presión descarga 1.000 kPa
Punto rocío a presión atmosférica -65°C
Presión alimentación aire De 900 a 1.300 kPa

Tanque almacén
Volumen 10,3 m ³
Presión 10 bar

El generador cuenta con los siguientes disparos:

- Alarma alto contenido de O₂.
- Alarma alta temperatura de rocío.

- Alta temperatura del aire alimentación.
- Alta temperatura del calentador.

El esquema del sistema de gas nitrógeno se especifica en el siguiente plano:

7.1.7. Generador gas inerte:

Este sistema ha sido explicado con detalle en el cuaderno 7 de planta propulsora y cámara de máquinas.

7.1.8. Sistema de tuberías de carga:

El diseño y construcción de tuberías, válvulas, bridas y otros acoplamientos están conformes a las reglas y normas ANSI. Este sistema está formado por tuberías de carga, nitrógeno, gas inerte y conductos de instrumentación así como las válvulas y acoplamientos, esto no incluye las tuberías de lastre. Todas la tuberías de carga excepto las de venteo o de instrumentación, las cuales están operadas a temperaturas superiores a 0°C estarán aisladas térmicamente. Las bridas, válvulas y juntas de expansión no están aisladas. El sistema de tuberías de carga está diseñado con suficientes márgenes de expansión y contracción debido a los efectos térmicos y a la flexión del buque.

Las tubería de carga están diseñadas para una presión de 1 MPa, las de venteo para 0,5 Mpa y todas ellas para una temperatura de trabajo de -163°C. El material de las tuberías es acero inoxidable cumpliendo las normas de ASTM A 312 grado TP 316 L.

Hay tres tipos de soporte para las tuberías de carga, que pueden ser fijos, soportes que permiten un movimiento axial, y los libres que permiten un margen de movimiento lateral además del axial.

El aislante de las tuberías esta compuesto de espuma de poliuretano. Las tuberías tendrán dos capas de aislante; la capa interior puede deslizarse en la superficie de la tubería para acomodarse a la contracción térmica y la capa externa es recubierta de FRP para evitar la entrada de humedad y estar protegido frente a daños externos.

Se utilizarán juntas de expansión en las línea de vapor, principalmente en le cámara de máquinas.

7.1.9. Válvulas de carga:

Todas las válvulas que prestan servicio a bajas temperaturas tienen un bonete extendido para evitar la congelación de la parte móvil. Todas estas válvulas son de acero inoxidable CF 3M para las soldadas y CF 8M para las bridadas. Todas las de carga cumplen el estándar ANSI de 150 libras de presión.

7.1.10. Válvulas de alivio:

Las válvulas de alivio protegerán del exceso de presión los tanques de carga, los espacios de aislamiento y las tuberías de carga.

Cada tanque de carga está provisto de dos válvulas idénticas situadas en el domo de gas. Estas válvulas exhaustan al mástil de veteo de cada tanque.

Cada barrera aislante primaria y secundaria dispone de dos válvulas de alivio y cada sección de tubería de carga expuesta a un posible aumento de presión dispondrá de una válvula de alivio.

La exhaustación de estas válvulas de seguridad está conectada al domo de gas más cercano.

7.1.11. Equipos de coferdan

Los coferdan transversales disponen de los siguientes sistemas:

Sistema de calefacción:

Es necesario calentar el aire de los coferdan para mantener una temperatura media de 5°C. Como así lo requiere el código IGC este sistema de calefacción es totalmente redundante, esto significa que todas las partes del sistema están por duplicado. El medio de calefacción que circula a través de las tuberías agua con glicol (punto de congelación -30°C) y la fuente de calor será el vapor. La carcasa del domo líquido, que es un espacio cerrado, también dispone de este sistema de calefacción y se emplea en la carga y descarga de los tanques. El sistema de calefacción incluye:

- 2 calentadores de vapor.
- 1 calentador eléctrico de 70 kW.
- 2 bombas de circulación de 32 m³/h.
- Válvulas de control de temperatura y caudal necesarias.
- 1 tanque de expansión de 1.000 lt.
- 1 tanque almacén de glicol de 6.000 lt.
- 1 tanque mezclador de agua y glicol de 200 lt.

Cada coferdan dispone de dos serpentines, uno situado en la zona de popa y otro en la zona de proa del coferdan. Cada serpentín está diseñado para un 100% de capacidad en las condiciones de diseño. Cada carcasa de domo líquido dispone de dos serpentines fijados en la pared de la carcasa.

La temperatura de cada coferdan es automáticamente controlada.

La disposición del sistema se puede encontrar en el plano:

Equipo de renovación de aire:

Antes de la entrega del buque los coferdan son llenados de aire seco para evitar la condensación. Esta atmósfera deberá ser renovada cuando sea necesario. Por ello cada coferdan dispone de un conducto de ventilación que llega al fondo del mismo. Este conducto puede ser conectado a un ventilador portátil o una toma de venteo de emergencia. Esto permite inyectar aire seco desde el generador de gas inerte. La exhaustación del aire en el coferdan se realiza a través de los accesos situados en la parte superior. Una vez al mes tendrá que ser medido el punto de rocío por medio de un analizador portátil.

Sistema de acceso:

Cada coferdan dispone de dos accesos, uno a cada banda, en la cubierta principal. Estos accesos están conectados a las escalas y plataformas que permiten la inspección de los serpentines.

7.2.- OPERACIONES DE CARGA

7.2.1. Viaje comercial

Enfriamiento de tuberías:

Esta operación puede ser realizada por medio de líquido suministrado desde tierra o por los propios medios del buque (en este caso debe ser realizado antes de la llegada ala terminal).

Carga:

La carga se realiza con retorno de gas a tierra por medio de compresores de alta capacidad.

La configuración usual se realiza conectando tres líneas de líquido y la línea de gas conectada a las conexiones de carga.

Drenaje de tuberías:

El líquido de drenaje retorna a los tanques abriendo las tuberías de llenado y de drenaje a los colectores.

Gas de combustión (Boil-off):

En el viaje en carga, el boil off generado se usa para alimentar las calderas. Dependiendo de la velocidad del buque el gas generado será suficiente o insuficiente. En caso de no serlo se podrá generar más gas usando los evaporadores forzados.

Descarga:

Generalmente la descarga se realiza con retorno de gas desde tierra, en algunas ocasiones el buque genera gas.

Para evitar el golpe de ariete la secuencia de arranque de la descarga se realiza del modo siguiente:

- Apertura de la válvula de respiro del tanque.
- Apertura de la válvula de descarga al 18%.
- Llenado de la columna de la bomba mediante la válvula de vaciado.
- Cierre de la válvula de respiro y de la conexión con la válvula de vaciado.

- Apertura de la válvula de llenado al 100%.
- Arranque del motor de la bomba de carga al 89%.
- Apertura de la válvula de descarga del domo líquido, cierre de la válvula de llenado y arranque del motor de descarga al 100%.

Gas de combustión (Boil-off) en lastre:

Cuando el buque viaja en lastre, la cantidad de boil off es sustancialmente menor que cuando viaja en carga, y dependiendo de la gestión del combustible y de la velocidad que alcanza el buque, podría considerarse necesario incrementar la cantidad de gas empleando evaporadores forzados de gas.

Rociado de tanque y enfriamiento parcial:

Esta operación se realiza previa a la carga para mantener bajas temperaturas en los tanques de carga mediante el rociado del líquido contenido en uno o más tanques. Esta operación se realiza cuando el buque está navegando antes de amarrar.

7.2.2. Operaciones previas a la entrada en el dique

Vaciado de tanques:

Esta operación se realiza en la terminal de descarga antes de que el buque vaya a dique seco y así realizar la evacuación de gas. Esta operación minimizara el tiempo necesario para evaporar la cantidad de líquido que no se pueda bombear por las bombas de descarga y así calentar los tanques en menor tiempo. Mediante las bombas de vaciado se evacuará todo el líquido que sea posible; en la última parte de esta operación el aumento de presión ayudara a bajar el nivel del líquido.

Evaporación del líquido no bombeable:

Los restos de líquido serán evaporados mediante la circulación de gas caliente impulsado por los compresores de alta capacidad a través de los calentadores de gas. La máxima temperatura aportada por los calentadores de gas es de 80°C para así evitar el deterioro de los aislantes de tuberías y tanques. El gas producido será quemado en las calderas.

Calentamiento de tanques de carga:

Una vez terminada la evaporación el flujo de los tanques es utilizado para incrementar la eficiencia del cambio térmico. El gas frío es succionado del fondo de los tanques y el gas caliente es introducido por el techo del tanque, así que el calentador de gas será utilizado a su máxima capacidad. Esta operación continuara hasta que la temperatura de la barrera aislante secundaria del fondo del tanque sea de 5°C.

Limpieza de gases en tanques:

El gas inerte es introducido por el fondo del tanque. Esta operación se realizara hasta que la concentración de hidrocarburos sea inferior 2%. Durante esta operación la mezcla de gas inerte e hidrocarburos podrá ser quemada en las calderas mientras que la concentración de hidrocarburos sea la suficiente. Una vez que la mezcla de gases sea ligera en hidrocarburos estos serán evacuados por el mástil de venteo de proa.

Limpieza de gases con calentamiento de gas inerte:

Esta operación permite reducir el tiempo total de la inertización y calentamiento si el gas inerte caliente es enviado a los tanques tan pronto como la barrera primaria alcance una temperatura de 5°C.

Se trata de una combinación de calentamiento e inertizado: el gas inerte (producido por el generador de gas inerte) que ha sido calentado por los calentadores de gas se envía al fondo de los tanques, esta operación de inertizado se mantendrá mientras sigue la operación de calentado, hasta que alcance un contenido en hidrocarburos menor del 1,5% aunque que la barrera aislante secundaria haya superado una temperatura de 5°C.

El calentamiento de la barrera secundaria hasta los 5°C es necesario para asegurarse el evitar cualquier riesgo de condensación de hidrocarburos pesados (butano).

Inertización de tuberías:

Durante la inertización de los tanques, todas las tuberías que no son empleadas deberán ser inundadas de gas inerte para evitar restos de hidrocarburos. La mezcla de gases será evacuada a los tanques que están siendo inertizados o al mástil de venteo de proa.

Aireación de los tanques de carga:

Esta operación debe ser realizada en navegación o en el dique mientras el buque tenga el certificado de ausencia de gas. El aire seco (punto de rocío -45°C) será producido por

el generador de gas inerte y enviado al techo de los tanques, la pesada mezcla CO₂/N₂ será evacuada por el fondo de los tanques. Esta operación continuará hasta que el contenido en O₂ sea por lo menos de 20%.

Previamente a la inspección de los tanques tendrá que ser revisado el nivel CO.

7.2.3. Operaciones posteriores a estancia en dique

Secado de los tanques:

Esta operación tendrá que ser realizada después de la estancia en dique y cada vez que los tanque sean abiertos. La operación se realiza con gas inerte y aire seco pero con el envío del aire seco al fondo del tanque (el aire húmedo es más ligero que aire seco). El aire húmedo será evacuado por el mástil de venteo de proa. El objetivo de esta operación es el de reducir el punto de rocío hasta

los -20°C, previo a la inertización. Esto es un requerimiento para realizar la operación de inertización si es realizada por medio del generador de gas inerte. Si la inertización se realiza con nitrógeno líquido se puede inertizar directamente.

Inertizado de tanques:

Esta operación puede ser desarrollada tanto en navegación como en el astillero, y se puede realizar por medio del generador de gas inerte o por medio del evaporador principal produciendo gas N₂ a partir de N₂ líquido suministrado por el colector de nitrógeno. El gas inerte producido por el generador es más pesado que el aire, por lo cual será introducido por el fondo de los tanques, sin embargo el gas nitrógeno es más ligero que el aire y se introducirá por el techo.

En ambos casos la operación se realizará hasta que el contenido en O₂ sea inferior 2% y el punto de rocío menor de -40°C.

Inertización de tuberías:

Esta operación se realiza durante la inertización de tanques. Todas las tuberías que no se usan durante este proceso serán inundadas de gas inerte y el contenido de oxígeno será medido en las distintas etapas para asegurar que todas las líneas han sido purgadas.

Llenado de gas de los tanques de carga:

Esta operación se realiza en la terminal de carga una vez que haya terminado la operación de inertización. El LNG será suministrado al buque a través de una conexión y será enviado al evaporador principal. El vapor producido al ser más ligero es introducido por el techo de los tanques. El objetivo es que la concentración de gas sea del 99% y el punto de rocío menor de -40°C .

Primera fase de enfriamiento de los tanques de carga:

Una vez llenados de gas los tanques serán enfriados rociando LNG mediante los rociadores. El caudal será controlado manualmente para conseguir el enfriamiento en una 10 o 12 horas. El compresor de baja capacidad enviará el vapor generado a las calderas. El objetivo es conseguir una temperatura entre -80°C y -130°C . Durante esta operación será necesario controlar la presión de las barreras aislantes y asegurar que esta sea menor que la atmosférica.

7.2.4. Operación de emergenciaDrenaje de la barrea aislante primaria en caso de derrame:

Esta operación se realiza en la terminal de descarga. En caso de que el derrame en la barrera primaria sea importante, causando una acumulación de líquido en este espacio, es necesario bombearlo al mismo tiempo que el tanque descarga. Una presión de líquido en la barrera primaria mayor que la presión en el tanque crea una presión en la parte trasera de la membrana lo cual tiende a romper el aislante.

8. EQUIPO DE MANTENIMIENTO Y MEDIOS DE ELEVACIÓN

8.1 TALLER DE MAQUINAS Y ELECTRICO

Se equipará el taller de máquinas con los siguientes elementos:

- Un torno eléctrico de 3 kW de potencia y 1500 mm entre centros.
- Un taladro vertical de 1,5 kW y capaz de hacer agujeros de hasta 32 mm de diámetro.
- Una esmeriladora doble de 0,5 kW.
- Un equipo de soldadura eléctrica de 200 A y 4 kW de potencia.
- Un equipo de corte y soldadura oxiacetilénica.
- Un banco para prueba de inyectoras con soporte para inyectora y bomba manual.
- Un compresor de aire para servicios auxiliares de 30 m³/h y 2,75 kW.

Existirá también un taller eléctrico con un cuadro de pruebas de 2,2 kW.

8.2 PUENTE GRUA PARA CAMARA DE MAQUINAS

Se instalará un puente grúa de 3,2 toneladas para atender a las operaciones de desmontaje auxiliares. Su consumo global se puede estimar en 15 kW.

PROYECTO FIN DE CARRERA N° 1564

LNG MEMBRANA 51.000 m³

CUADERNO 11

DISEÑO DE LA PLANTA ELECTRICA



ENRIQUE DOPICO

TUTOR: Dn SEBASTIÁN ABRIL PÉREZ

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. POTENCIAS, TENSIONES Y FRECUENCIAS	3
3. TIPOS DE PLANTAS Y REDES DE DISTRIBUCION A BORDO.....	5
4. SISTEMA DE PROTECCIONES DE LA RED ELECTRICA	9
5. ALUMBRADO	11
5.1. ALUMBRADO DE LOCALES INTERIORES	11
5.2. LUCES DE NAVEGACIÓN Y SEÑALES	15
6. SITUACIONES DE CARGA.....	16
7. BALANCE ELECTRICO	18
8. GRUPOS DIESEL - GENERADORES	22
8.1. ALTERNATIVAS PLANTEADAS.....	22
8.2. ALTERNATIVA ELEGIDA.....	24
9. TRANSFORMADORES.....	25
10. PLANTA DE EMERGENCIA.....	26

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos más importantes para un buen funcionamiento del buque es el diseño de la planta eléctrica. De esta depende el funcionamiento de la totalidad de los equipos instalados a bordo. Como aspectos distintivos respecto a instalaciones terrestres podemos destacar los siguientes:

- Peso, empacho (volumen) y coste de la instalación que debe minimizarse en todo diseño de ingeniería, sin que se reduzca la calidad final.
- Facilidad de operación y bajo coste de explotación.
- Instalaciones muy limitadas en espacio.
- El buque como sistema autónomo, sin posibilidad de auxilio o conexión inmediata a otras instalaciones, obliga a disponer de todo tipo de elementos y servicios auxiliares y a diseñar sistemas redundantes y de emergencia.
- Dureza del entorno marino (movimiento del buque, humedad, salinidad,...)

A la hora de diseñar la planta eléctrica se deben seguir unas normas de obligado cumplimiento, como son, las de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), IMO (capítulo II-1-D del reglamento SEVIMAR), y las de la sociedad de clasificación correspondiente (BV).

La planta eléctrica a bordo del buque se proyecta cada vez más teniendo en cuenta el máximo de reducción de costes de operación y mantenimiento, de forma que es fundamental la centralización de la información y la normalización o “estandarización” de los sistemas, lo cual supone reducción de las labores, tanto de operación como de mantenimiento.

2. POTENCIAS, TENSIONES Y FRECUENCIAS

El margen de potencia eléctrica instalada a bordo de un buque es muy variado dependiendo del tipo de propulsión que tenga el buque en cuestión y de su destino (mercante, pasaje, pesquero, etc). El margen de potencias instaladas podemos acotarlo entre 100 y 5000 kW. Con este amplio margen de potencias existen una gran variedad de soluciones a la hora de diseñar la planta eléctrica.

Los niveles de tensión con los que se suele trabajar en la industria marítima son:

- Tensión de seguridad: Menor de 50 V
- Baja tensión: Entre 50 y 500 V
- Media tensión: Entre 500 y 1000 V
- Alta tensión: Mayor de 1000 V

La corriente eléctrica a bordo podrá ser alterna de 50 o 60 Hz y sus respectivas tensiones 380 V y 440 V trifásica para la instalación de fuerza. En nuestro caso hemos optado por la alternativa de 380 V y 50 Hz. Esta es la frecuencia utilizada en la red eléctrica europea, y la elección de dicha frecuencia se hace en base a obtener compatibilidad entre los equipos a bordo y de tierra. Además se ha elegido baja tensión debido a que los principales consumidores son de tipo medio y las intensidades de corriente no son excesivamente elevadas. La red de alumbrado, la cual se emplea en alumbrado interior, exterior, de navegación, alimentación de pequeños consumidores en la zona de habilitación, sistemas de control y los equipos electrónicos; tendrá una tensión de 220 V monofásica. Se emplearán transformadores para obtener los 220 V a partir de la tensión principal.

Para sistemas de control y otros sistemas electrónicos se instalarán baterías a 24 V alimentadas por rectificadores con salida de corriente continua a esa tensión.

3. TIPOS DE PLANTAS Y REDES DE DISTRIBUCION A BORDO

En una planta eléctrica hay que distinguir entre la planta generadora, basada fundamentalmente en generadores eléctricos (maquinas síncronas), y la red de distribución.

3.1 PLANTAS GENERADORAS

La potencia eléctrica instalada a bordo se suele dividir en varios generadores por motivos de fiabilidad y seguridad:

- Planta principal: Se encarga de suministrar energía eléctrica al buque durante su operación normal, en las distintas situaciones de trabajo. Estará formado por dos o más grupos electrógenos o por un generador de cola directamente acoplado a la turbina principal. La potencia instalada debe ser tal que se puedan atender las situaciones de consumo con uno de los grupos fuera de servicio. Los grupos se suelen situar en la cámara de máquinas en buques con puntal suficiente como es el caso.
- Planta de emergencia: Constituida por un pequeño grupo diesel-generator, dimensionado para atender a los consumidores de emergencia. Su situación debe ser por encima de la cubierta continua más alta, en un local independiente, accesible desde el exterior. Estará situada en cubierta “A” de la superestructura.
- Fuente transitoria de energía: Constituida por baterías recargables, que puede estar centralizada o distribuida para cada consumidor. Su función es la de proporcionar continuidad a los sistemas electrónicos vitales.

3.2 RED DE DISTRIBUCIÓN

La red de distribución se realiza conectando con cables, distintos cuadros de interconexión y estos con los generadores, motores y otros consumidores.

Los generadores principales se conectan a un cuadro denominado cuadro principal; éste suministra energía a los de distribución en distintos escalones, denominándose cuadros

primarios, secundarios, terciarios, etc. Cualquiera de éstos se denomina terminal o de distribución de circuitos finales cuando de él se alimentan los consumidores, resultando de especial importancia los de control de motores. Por su parte el grupo de emergencia se conecta al cuadro de emergencia.

En todos los buques existe un cuadro principal que constituye el auténtico centro de la planta principal. La estructura de los cuadros los hace autoportantes; en el frente se disponen los elementos de interfase hombre-máquina como lámparas, interruptores, pulsadores, instrumentos de medida y en el interior los elementos de aparamenta y las conexiones de los conductores. Un aspecto importante es la ventilación del cuadro, que suele ser por convección natural, para lo que hay dispuesto una serie de rejillas en la parte inferior y superior. La misión del cuadro principal es múltiple:

- Ser el punto de conexión de los distintos generadores de la red, incorporando su aparamenta de protección, medida y , en parte, de regulación.
- Alojar los elementos del equipo de sincronización, reparto de cargas y protección general.
- Incorporar los elementos de distribución de primer nivel de la red, incluyendo sus instrumento de medida y aparamenta de protección.
- Incorporar los convertidores de medida analógicos y digitales que sirven para transmitir el estado de la planta eléctrica al sistema de automación.

El cuadro principal estará situado dentro de la cámara de máquinas, cerca de los Generadores en las proximidades de un costado. Más exactamente estará situado en la cámara de control de máquinas en la plataforma “C” de la cámara de máquinas.

El cuadro de emergencia se sitúa en el mismo local que el grupo de emergencia y cuenta con conexión a los siguientes elementos:

- Grupo de emergencia
- Servicios de emergencia de fuerza
- Transformador y red de alumbrado de emergencia
- Conexión al cuadro principal

El grupo de emergencia no puede trabajar en paralelo con los de la planta principal. Por ello la conexión entre sus cuadros solo debe efectuarse cuando uno de los dos está sin tensión.

En cuanto a la geometría de la red de distribución existen tres tipos fundamentalmente:

- Red en líneas abiertas o lineal
- Red en anillo cerrado, mallado o bucle
- Red en derivaciones sucesivas, radial o en árbol

En nuestro caso, aunque la red en anillo es la más segura, emplearemos la red en árbol debido a que tiene un menor volumen, peso y coste. En esta, del cuadro principal salen una serie de líneas a unos pocos cuadros primarios, y de éstos a su vez, varias líneas para alimentar cuadros secundarios. Para asegurar el buen funcionamiento del sistema se debe prever una alimentación doble desde el cuadro principal, que no incluya cuadros de distribución comunes y con tendidos lo más separados posibles.

3.1.1 Número de conductores

En redes de baja tensión, como es la nuestra (380V), se suelen emplear tres conductores con red aislada (el neutro no esta conectado a tierra). En esta red aislada los conductores pueden estar a cualquier potencial. En caso de producirse una fuga, la fase en cuestión (R,S,T) se pone a tierra (0 V) y entre las otras y tierra (carcasas de máquinas, bandejas,...), existe una tensión igual a la de línea. Esto es soportable por los aislamientos. Al producirse una fuga la instalación puede seguir funcionando sin problemas, pero no con dos derivaciones, ya que la intensidad de corriente sería muy alta y las protecciones de sobreintensidad dispararían.

Existen dos razones fundamentales a la hora de escoger una red aislada:

- La no existencia de electrocución para las personas al tocar una fase, debido a que las corrientes que circulan de puesta a tierra de una fase son mínimas. Además disminuye el riesgo de ignición.

- Al estar la red en un ambiente húmedo la posibilidad de aparición de fugas es alta por lo que la aparición de una fuga simple no hace disparar el sistema de protecciones y la planta puede seguir funcionando. Existirán distribuidos a lo largo de toda la red detectores de aislamiento para su rápida reparación.

4. SISTEMA DE PROTECCIONES DE LA RED ELECTRICA

Los equipos de protección tienen como función la detección de los defectos lo antes posible para emitir las órdenes necesarias a los órganos de corte de los circuitos (interruptores y/o contactores fundamentalmente) y a los operadores de la instalación, para que la zona del defecto quede aislada y sin tensión cuanto antes. Los equipos de protección han de tener:

- Gran fiabilidad de funcionamiento
- Gran sensibilidad, precisión y posibilidad de ajuste para adaptarse lo más exactamente a las condiciones particulares de cada instalación.
- Gran rapidez en su acción, tanto en la detección del defecto, como en el envío de la orden de actuación.
- Optima selectividad y capacidad de detectar lo más concretamente posible la zona o equipo donde se encuentra el defecto, junto con una clara indicación a los operadores de cuál ha sido el defecto y dónde se encuentra.
- Inmunes y compatibles con la actuación y funcionamiento de otros equipos, que en todo caso pueden estar o no funcionando sin afectar a las prestaciones de los equipos de protección.

Para las labores de protección, se precisa la participación de los siguientes elementos:

Aparatos de maniobra de circuitos

Las maniobras de interrupción, seccionamiento o aislamiento de circuitos se deben realizar mediante distintos tipos de aparatos adecuados a la operación a realizar; estos aparatos son fundamentalmente:

- Seccionadores
- Interruptores
- Contactores
- Interruptores automáticos
- Fusibles

Transductores o transformadores de la magnitud a vigilar

En general las magnitudes primarias a vigilar en las protecciones de los equipos eléctricos son:

- Temperatura (PT-100, PTC, Termopar)
- Presión, caudal y nivel de fluidos de refrigeración y lubricación (Presión diferencial, interruptor de flujo, interruptor de nivel, presostato)
- Corriente, tensión, potencias y frecuencias
- Velocidad, vibración y posición de los elementos móviles
- Tiempo
- Grado de humedad

5. ALUMBRADO

5.1. ALUMBRADO DE LOCALES INTERIORES

El alumbrado interior comprende los equipos de iluminación de la habitación, puente, cámara de máquinas y de los paños bajo la cubierta castillo. Estará compuesto por lámparas fluorescentes de encendido rápido en todos los locales excepto en la gambuza refrigerada, en donde debido a la variación del flujo de este tipo de lámparas con la temperatura se opta por la instalación de lámparas incandescentes. Todo el sistema se conectará a la red de 220 V / 50Hz del buque.

Para calcular el consumo se van a analizar las necesidades de iluminación de cada uno de los locales a través del método directo. Para ello se van a fijar las iluminancias, E, requeridas en cada caso, expresadas en luxes en base a la información recogida en tablas. A partir de esta iluminancia se obtendrá el flujo luminoso, teniendo en cuenta que:

$$\phi = E \cdot S \cdot \frac{F_d}{F_u}$$

donde;

E = luminancia en lux necesaria en el recinto

S = superficie en m²

F_D = factor de depreciación (entre 1,25 y 2,5)

F_U = factor de utilización.

Al obtener el factor de utilización se ha supuesto que el alumbrado es semidirecto y que las paredes son de color claro.

Para el cálculo de E por espacios se sigue la siguiente tabla:

LOCALES	ILUM.(lux)
<i>Camarotes oficiales y tripulación</i>	150-250
<i>Locales de servicio</i>	250-300
<i>Locales de reunión</i>	200-400
<i>Pasillos</i>	100-150
<i>Enfermería</i>	500-1000
<i>Oficinas</i>	400-750
<i>Puestos de maniobra</i>	500-750
<i>Cámara de máquinas</i>	300-450
<i>Talleres de maquinaria</i>	500-1.000
<i>Cámara de calderas</i>	250-350
<i>Túneles y compartimentos de menos de 200 m²</i>	100-150

El factor de utilización F_u expresa el rendimiento de la instalación, y se obtiene en función del índice K del local, que tiene la expresión:

$$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

con:

- a longitud del local
- b anchura del local
- h altura del local

Suponiendo que el rendimiento luminoso es 0,04 W/L y 0,11 W/L en alumbrado fluorescente e incandescente respectivamente y estimando a partir de buques similares, que el 90 % de la iluminación es fluorescente y el resto incandescente, se puede estimar un rendimiento global luminoso de valor:

$$R = 0,9 \cdot 0,04 + 0,1 \cdot 0,11 = 0,047 \text{ W/L}$$

El flujo luminoso requerido en los distintos locales será por tanto:

LOCAL	S(m²)	E(lx)	Fd	K	Fu	L(lm)
<i>Camarotes oficiales y trip.</i>	622.97	200	1.25	4.57	0.72	216309.03
<i>Cocina</i>	21.9	250	1.8	1.06	0.46	21423.91
<i>Gambuzas</i>	100.6	100	1.5	1.34	0.52	29019.23
<i>Guardacalor</i>	31.08	100	1.5	0.33	0.34	13711.76
<i>Local del servo</i>	100.1	100	1.8	1.70	0.53	33996.23
<i>Talleres y locales de máquinas</i>	117.17	600	1.8	1.08	0.46	273312.31
<i>Cámara de calderas</i>	56	300	2.4	1.49	0.55	73309.09
<i>Comedores y salones</i>	207.73	375	1.25	2.64	0.63	154561.01
<i>Cámara de máquinas</i>	744.01	350	2.4	1.19	0.50	1249936.80
<i>Puente</i>	155.32	100	1.25	2.08	0.52	37336.54
<i>Pañoles</i>	187.59	250	1.5	2.51	0.62	113461.69
<i>Grupo de emergencia</i>	13.46	200	2	0.57	0.33	16315.15
<i>Aire acondicionado</i>	25.32	300	2	0.85	0.39	38953.85
<i>Hospital y enfermería</i>	33.2	600	1.25	0.77	0.42	59285.71
<i>Gimnasio</i>	20.49	200	1.25	0.79	0.42	12196.43
<i>Biblioteca</i>	18.1	450	1.25	0.70	0.38	26792.76
<i>Local hélice de proa</i>	13.6	100	2	0.72	0.34	8000.00
<i>Cuarto de control de carga</i>	41.29	600	2.5	1.11	0.46	134641.30
<i>Pasillos</i>	202	100	1.25	2.60	0.61	41393.44
<i>Lavandería y secadero</i>	38.24	200	2	1.03	0.46	33252.17
TOTAL						2587208.43

Por lo tanto se requiere la siguiente potencia:

$$W_{loc} = 0,047 \cdot 2587208,43 = 121,6 \text{ Kw}$$

5.2. LUCES DE NAVEGACIÓN Y SEÑALES

Se instalaran en cubierta los receptores que se detallan a continuación:

- 1 proyector de maniobra de 0,9 kW.
- 1 proyector de molinete de 0,4 kW.
- 2 proyectores de chimenea de 1 kW cada uno.
- 2 proyectores para la iluminación de botes de 0,6 kW.
- 6 focos de 2 kW para el alumbrado de cubierta.

Se requiere una potencia de 16,5 kW.

Las potencia de las luces de navegación que se dispondrán serán:

Palo de proa	60 W
Banda de babor	60 W
Banda de estribor	60 W
Palo de popa	60 W
Popa (alcance)	60 W
Luz fondeo proa	60 W
Luz fondeo popa	60 W
Popa (varado)	2 x 60 W
TOTAL LUCES NAVEGACIÓN	540 W

Adicionalmente, todas estas luces estarán duplicadas para que en caso de fallo de una de ellas siempre exista una de reserva que pueda ser encendida instantáneamente.

La potencia consumida total del alumbrado de luces de navegación y las señales es por tanto de 17,4 kW.

6. SITUACIONES DE CARGA

Las situaciones de carga eléctrica típicas en un buque dependen en gran medida del tipo buque que se esté tratando. Las necesidades energéticas del buque son prácticamente constantes durante períodos de tiempo prolongado. A la hora de dimensionar la planta generadora de potencia y ajustarla lo más posible a las necesidades del buque es conveniente estudiar las siguientes situaciones:

- Situaciones en las que el buque operará durante la mayor parte de su vida.
- Situaciones de máximo consumo energético.
- Situaciones de mínimo consumo energético.
- Situación de emergencia.

Para el LNG proyecto estas situaciones de carga a analizar serán:

6.1 NAVEGACIÓN

Es la situación en la que el consumo de energía eléctrica en la mar es el necesario para atender todos aquellos consumidores que afectan a los servicios normales del buque.

6.2 MANIOBRA

Situación en la que el consumo es el correspondiente a los consumidores operando a régimen diferente del de navegación normal y a los consumidores que sólo funcionan durante operaciones de entrada/salida de puerto.

6.3 PUERTO 24 HORAS

Es el correspondiente al consumo eléctrico de aquellos consumidores ajenos a la propulsión y manejo de carga.

6.4 PUERTO PUNTA

Situación en la que el consumo en puerto es máximo, contemplando los consumidores incluidos en Puerto y los equipos de manejo de carga.

6.5 EMERGENCIA

Aquella en la que el consumo de energía eléctrica es el necesario para mantener los servicios de seguridad y maniobrabilidad en condiciones de emergencia.

7. BALANCE ELECTRICO

El balance eléctrico de un buque es un estudio del conjunto de necesidades energéticas en las distintas situaciones de carga eléctrica. Se basa en un cálculo más probabilístico que determinista, ya que su aspecto fundamental es la estimación de la potencia promedia que necesita cada consumidor, que será una fracción de la instalada.

El grado de precisión y complejidad en el desarrollo del balance puede ser diverso, por ello distinguimos:

- Balance mediante estimación directa con fórmulas.
- Balance basado en un buque base
- Balance clásico detallado
- Balance avanzado

En nuestro caso vamos a realizar el balance clásico, el cual es el más utilizado. Permite calcular con precisión la potencia consumida en las distintas situaciones de carga eléctrica y presenta un resumen de los equipos instalados a bordo, siendo un reflejo de su modo de explotación.

Para desarrollar el balance, se supone un factor de potencia promedio para todos los consumidores. El valor ampliamente aceptado es $\cos \varphi = 0,8$. Para pasar de la potencia consumida a la demandada en cada situación de carga se multiplica por un coeficiente de utilización **Ku**, que es igual al producto de otros dos coeficientes. Estos son el coeficiente de simultaneidad **Kn**, que refleja que en muchos caso existen equipos de reserva, y el coeficiente de servicio y régimen **Ksr**, que representa el grado de probabilidad de que una máquina este trabajando a su potencia máxima.

Para la elaboración del balance eléctrico se han subdividido los receptores de energía eléctrica en los siguientes grupos:

- Auxiliares de la propulsión.
- Generadores de vapor y agua.
- Manejo y purificación de combustible y aceite lubricante.
- Seguridad y manejo de la carga.
- Equipo de acondicionamiento.
- Accesorios de izado y mantenimiento.
- Equipo de fonda y hotel.
- Equipo de gobierno y maniobra.
- Equipo de navegación, comunicaciones y alumbrado.
- Consumidores a 220 v.

Para el cálculo de los KVA'S necesarios a la salida del alternador del alternador se ha supuesto un factor de potencia de 0,8 con lo que los resultados finales se muestran en la página siguiente.

Al final del cuaderno se muestra la totalidad del balance eléctrico.

CONSUMIDORES	POT.	POTENCIA EN SERVICIO	NAVEGACION KW	MANIOBRA KW	PUERTO KW	PUERTO	EMERGENCIA
	TOTAL INSTALADA					PUNTA KW	
SISTEMA DE VAPOR AUXILIAR	853,0	510,4	310,65	215,24	194,48	220,23	0,00
SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR	637,2	492,8	317,32	295,68	344,96	394,24	49,28
MANEJO Y PURIFICACIÓN DE COMBUSTIBLE	119,4	63,0	39,86	39,86	11,75	11,75	0,00
SEGURIDAD Y MANEJO DE LA CARGA	4176,4	3615,9	587,91	645,20	919,87	2655,63	69,50
EQUIPO DE ACONDICIONAMIENTO	614,9	439,4	230,08	220,78	223,55	214,93	0,00
ASCENSORES Y MANTENIMIENTO	60,7	60,7	21,74	8,54	11,84	26,60	1,20
EQUIPO DE FONDA Y HOTEL	100,2	84,7	21,47	21,47	21,47	21,47	0,00
EQUIPO GOBIERNO Y MANIOBRA	1872,8	1700,5	704,20	1823,00	0,00	493,10	141,15
EQUIPO DE NAVEGACIÓN, COMUNICACIONES Y ALUMBRADO	186,0	186,0	161,42	92,88	42,98	42,98	135,40
CONSUMIDORES A 220 V	12,9	12,9	7,84	8,20	3,20	3,20	2,32
TOTAL KW	8633,4	7166,3	2402,48	3370,84	1774,09	4084,13	398,85
	0%		2402,48	3370,84	1774,09	4084,13	438,74
TOTAL KVA (cos fi = 0,8)			3003,10	4213,55	2217,61	5105,16	548,42

8. GRUPOS DIESEL - GENERADORES

El número de grupos es una nueva variable que aparece en el diseño de la planta eléctrica, y en su elección intervienen distintos aspectos, que los podemos resumir:

- El coste de la planta debe reducirse en lo posible, pero hay un pequeño margen para las imprecisiones en los cálculos y el ligero aumento de la potencia demandada a lo largo de la vida del buque. En este sentido es preferible un número de grupos bajo.
- Su flexibilidad de operación mejora al aumentar el número de grupos.
- El coste de mantenimiento, que es, en primera aproximación, proporcional al n° total de cilindros de los motores diesel, aumenta si tenemos grupos de distintas potencias y, sobre todo, si el régimen de los motores primarios es muy bajo. Esta limitación no es aplicable al caso de los generadores de cola.

8.1. ALTERNATIVAS PLANTEADAS

Se estudiarán distintas configuraciones con y sin generador de cola.

➤ **3 grupos DUALES MAN B&W 6L32/40**

GRUPO GENERADOR		TIPO	Nº	kW
MAN B&W		6L 32/40	2	2894
		TOT AL		
CONDICIÓN	K VA'S	Nº.GEN.	KVA	REGIMEN
NAVEGACIÓN	3 003,1	2	5787 ,5	52
MANIOBRA	4 213,5	2	5787 ,5	73
PUERTO	2 217,6	1	2893 ,75	77
PUERTO PUNTA	5 105,2	2	5787 ,5	88

➤ **3 grupos DUALES MAN B&W 7L32/40**

GRUPO GENERADOR MAN B&W		TIPO 7L 32/40	Nº 2	KVA 3375
		TOT AL		
CONDICIÓN	K VA'S	Nº.GEN.	KVA	REGIMEN
NAVEGACIÓN	3 003,1	1	3375	89
MANIOBRA	4 213,5	2	6750	62
PUERTO	2 217,6	1	3375	66
PUERTO PUNTA	5 105,2	2	6750	76

➤ **3 grupos DUALES WARTSILA 6R32DF**

GRUPO GENERADOR WARTSILA		TIPO 6R32DF	Nº 2	KVA 2525
		TOT AL		
CONDICIÓN	K VA'S	Nº.GEN.	KVA	REGIMEN
NAVEGACIÓN	3 003,1	2	5050	59
MANIOBRA	4 213,5	2	5050	83
PUERTO	2 217,6	1	2525	88
PUERTO PUNTA	5 105,2	2	5050	101

➤ **3 grupos DUALES WARTSILA 9R32DF**

GRUPO GENERADOR		TIPO	Nº	KVA
MAN B&W		9R32DF	2	3775
		TOT AL		
CONDICIÓN	VA'S	Nº.GEN.	KVA	REGIMEN
NAVEGACIÓN	3 003,1	1	3775	80
MANIOBRA	4 213,5	2	7550	56
PUERTO	2 217,6	1	3775	59
PUERTO PUNTA	5 105,2	2	7550	68

8.2. ALTERNATIVA ELEGIDA

Para la elección de la mejor alternativa nos basaremos en los regímenes de funcionamiento de los grupos, debiendo estar comprendidos entre 60 y 95% para conseguir un buen rendimiento.

Fijándonos en las distintas alternativas la escogida es la opción de 3 grupos duales del grupo MAN B&W (7L32/40) que gira a una velocidad de 750 rpm (50 Hz) y una potencia nominal de 2.700 kW y un rendimiento del 92 %. Debido a las altas revoluciones existe una caja de engranajes suministrada por el propio fabricante MAN B&W.

- En la condición de navegación se empleará 1 grupo (89%), con los que en caso de mar punta tendremos margen suficiente de carga.
- En la condición de maniobra, se empleará 2 grupos electrógenos duales

- En las condiciones de puerto estará en funcionamiento 2 grupos electrógenos duales.

Esta opción es la óptima ya que con solo dos grupos es posible suministrar la energía eléctrica necesaria en cualquier condición de operación.

9. TRANSFORMADORES

Los grupos de consumidores que se alimentan a distinta tensión de la proporcionada por los alternadores (380 V) son los de iluminación, navegación, comunicación y automación, que lo hacen a 220 V.

<i>CONSUMIDORES</i>	<i>POT.TOTAL INSTALADA</i>
<i>Equipos.</i>	30.0
<i>Equipo de navegación y comunicaciones</i>	5.0
<i>Cuadro de bajo voltaje</i>	0.5
<i>Cuadro de servicios específicos de puente y máquinas</i>	3.0
<i>Tifón</i>	5.5
<i>Alumbrado locales interiores</i>	121.6
<i>Luces de navegación y señales</i>	17.4
<i>Enfriador de agua potable</i>	2.5
<i>Buscador de radio dirección</i>	0.1
<i>Ecosonda</i>	0.3
<i>Corredera</i>	0.3
<i>Altavoz de órdenes</i>	0.5
<i>Teléfonos automáticos</i>	0.2
<i>Consola de control C^a.M^a.</i>	5.0
<i>Consola del timón</i>	2.0
<i>Control remoto de válvulas</i>	2.0
<i>TOTAL CONSUMIDORES</i>	170,9

El total de los consumidores es de 195.9 kW ($\frac{195,9}{0.8} = 245kVA$), por lo que se instalarán dos transformadores de 245 kVA en el cuadro principal y en el de emergencia. De esta forma quedan alimentados los consumidores esenciales de las redes de menor tensión directamente desde el generador de emergencia.

10. PLANTA DE EMERGENCIA

La situación de emergencia corresponde a un caso en que por avería, accidente o mal funcionamiento de los equipos del buque, se produzca un fallo en la planta principal de generación de energía eléctrica. Un fallo de esta planta no puede significar en ningún caso que el buque se quede sin un conjunto de servicios esenciales.

El reglamento IMO y la sociedad de clasificación especifican una serie de servicios mínimos que han de funcionar en caso de emergencia:

- Estaciones de evacuación (3 horas)
- Alumbrado de emergencia en todos los recorridos de evacuación, cámara de máquinas, puestos de control, local del servomotor, locales con equipo de achique o contraincendios (18 horas)
- Comunicaciones interiores y exteriores, ayudas a la navegación, sistemas de alarma y telecontrol contraincendios. Señales sónicas (18 horas)
- Bomba contraincendios de emergencia (18 horas)
- Bomba de achique. Accionamiento válvulas remotas de sentinas (18 horas)
- Servomotor

A la vista del resultado obtenido en el balance eléctrico de emergencia se decide la instalación de un grupo de emergencia formado por un grupo electrógeno de 250 KVA, 380 V - 50 Hz, fabricado por la marca DEUTZ a 1500 rpm. Nuestras necesidades según el balance eléctrico son de 548 kVA con los que estamos en un régimen de funcionamiento

de 91 %. Estará ubicado en un local adecuado por encima de la cubierta de compartimentación.

GENERADOR DE EMERGENCIA	Nº. GEN.	KVA	REGIM EN	
		600		
		TOTAL KVA		
EMERGENCIA	548,42	1	600	91

El motor diesel se arrancará mediante un motor eléctrico y baterías, conectándose mediante un contactor de mínima tensión a las barras del cuadro de emergencia de tal manera que cuando se detecte el fallo de tensión, ponga en funcionamiento el arrancador del diesel. El grupo de emergencia tendrá un grupo de 2 baterías de 100 A·h, a 24 Voltios. Habrá a su vez dos de respeto. Para que el grupo de emergencia pueda entrar en servicio lo antes posible, se dotará al motor de sistemas de precaldeo del refrigerante y de aceite y de una bomba de pre lubricación forzada.

En el local del generador de emergencia se instalará un cuadro de emergencia conectado al principal, con objeto de que en navegación normal, los elementos que constituyen el servicio de emergencia sean alimentados desde el principal.

Este cuadro de emergencia cuenta con conexiones al grupo de emergencia, a servicios de emergencia de fuerza (380 V), transformador y red de alumbrado de emergencia (a 220 V) y una conexión al cuadro principal.

No se prevé una fuente transitoria de energía para todos los consumidores de emergencia (para dar corriente para iluminación de escape, ventilación, bombas C.I., etc. desde el “black out” hasta que el grupo de emergencia este en funcionamiento) ya que el grupo de emergencia puede entregar la potencia máxima en pocos segundos, además de no obligar la normativa. En cambio, los equipos electrónicos tendrán sus propias baterías alimentadas con rectificadores (para unificar se utilizarán baterías similares a las del grupo de emergencia) que serán ubicadas en el cuarto de baterías.

PROYECTO FIN DE CARRERA N° 1564

LNG MEMBRANA 51.000 m³

CUADERNO 12

PRESUPUESTO



ENRIQUE DOPICO

TUTOR: Dn SEBASTIÁN ABRIL PÉREZ

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. COSTE DE LA ESTRUCTURA.....	7
3. EQUIPO, ARMAMENTO E INSTALACIONES	8
4. MAQUINARIA AUXILIAR DE CUBIERTA.	8
5. INSTALACIÓN PROPULSORA	9
6. MAQUINARIA AUXILIAR DE LA PROPULSIÓN.	9
7. PERTRECHOS Y RESPETOS	10
8. INSTALACIONES ESPECIALES	10
9. RESUMEN Y COSTE DE CONSTRUCCIÓN	11
10. FINANCIACIÓN	13
10.1. BENEFICIO INDUSTRIAL DEL ASTILLERO	13
10.4. CAPITAL PROPIO Y CAPITAL AJENO.....	13

1. INTRODUCCIÓN

El objeto del presente documento es realizar una estimación del coste de construcción del buque de proyecto. En este presupuesto no se han incluido los gastos financieros que pudieran derivarse de dicha construcción, por no considerarse este cálculo objetivo del ejercicio.

La evaluación de los costes de construcción del buque se lleva a cabo a partir de datos de buques construidos. En un astillero, además, se tendrían en cuenta la lista de ofertas de equipos y materiales que posea. En este caso, sólo es posible aproximarse a esta evaluación, por lo que se utilizarán además fórmulas empíricas y recomendaciones incluidas en el libro: “Apuntes de Proyectos” del profesor D. Jaime Torroja Menéndez

El presupuesto ha sido desglosado en varios grupos generales, para cada una de las cuales se han detallado los gastos estimados de materiales y la mano de obra de cada equipo o instalación. A continuación se adelanta una descripción de dichas partidas:

➤ Costes varios de astillero.

Esta partida contempla los costes originados en la etapa de proyecto, los costes debidos a la clasificación del buque en el Det Norske Veritas, así como los relativos a los certificados necesarios para la operatividad del buque. Además se consideran aquí los gastos de pruebas y garantías.

➤ Casco.

Se incluyen en este punto los costes de construcción de la estructura de acero del buque así como los ocasionados por los procesos de soldadura, preparación de superficies y pintado de las mismas.

➤ **Equipo, armamento e instalaciones.**

Se consideran los costes de armamento de los equipos de fondeo, amarre y remolque y los gastos relativos a los distintos medios de salvamento, habilitación, equipos de fonda y hotel, equipos de acondicionamiento en alojamientos, equipos de navegación y comunicaciones, medios contraincendios convencionales así como los gastos en equipos convencionales de servicio de la carga y los relativos a instalaciones eléctricas, conductos y tuberías. Se consideran además una serie de costes adicionales como accesorios varios.

➤ **Maquinaria auxiliar de cubierta.**

Se incluyen los costes relativos al equipo de gobierno y a la maquinaria del equipo de fondeo y amarre.

➤ **Instalación propulsora.**

Se consideran aquí los costes derivados de la instalación a bordo del equipo de propulsión principal así como los relativos a la disposición de la línea de ejes y la hélice propulsora.

➤ **Maquinaria auxiliar de propulsión.**

Se contabilizan en esta partida los costes relativos a la planta de generación eléctrica y los distintos equipos de circulación, refrigeración y lubricación de la planta propulsora y auxiliar. Además se incluyen los costes de los equipos de generación de vapor, arranque de motores, manejo de combustible y purificación, así como los costes en equipos auxiliares de casco, equipos sanitarios y varios.

➤ **Cargos y respetos.**

Se incluyen aquí los costes de la disposición de los cargos y respetos reglamentarios, no reglamentarios y especiales

➤ **Instalaciones especiales.**

Se presupuestan los costes relativos a los equipos para el manejo de cargas modulares, las instalaciones y equipos de automatización, telecontrol y alarma, los sistemas de estabilización y los sistemas auxiliares de maniobra. Además se incluyen los costes de las instalaciones y equipos especiales contra incendios y de seguridad.

➤ **Beneficio del astillero.**

Dada la dependencia del beneficio del astillero respecto a numerosos factores tales como la coyuntura de mercado, la productividad de la mano de obra, las fluctuaciones de los precios de los materiales y equipos, etc. No existe ninguna referencia válida para tomar. El beneficio de la empresa constructora puede alcanzar hasta el 10% ó 15% del coste en casos muy favorables o llegar a ser negativo en peores situaciones. Por todo ello se ha decidido fijar este beneficio en el 8 % del coste de construcción del buque.

El valor de la mano de obra se tomará, como media de 36 Euros/h. El beneficio del Astillero será de un 8 % sobre el valor bruto del buque.

2. COSTE DE LA ESTRUCTURA

Tomando un coste unitario de acero de 90 cent Euro/ kg.

CASCO	COSTE MATERIAL (€)
Chapas y perfiles	10.504.628
Palos y polines	649.803
Resto de materiales del casco	457.577
Timón y accesorios	820.527
Materiales auxiliares en la construcción del casco	649.972
Preparación de superficies	982.971
Pintura y control de corrosión	5.632.722

El coste total será de: **19.698.200 Euros**

Número total de horas: **811.500 horas**

3. EQUIPO, ARMAMENTO E INSTALACIONES

EQUIPO, ARMAMENTO E INSTALACIONES	COSTE MATERIAL (€)
Equipo de fondeo, amarre y remolque	1569.845
Medios de salvamento	577.136
Habilitación de alojamientos	809.894
Fonda y hotel	300.517
Acondicionamiento	414.391
Navegación y comunicaciones	584.122
Equipos convencionales de servicio de la carga	1950.011
Medios contraincendios convencionales	614.256
Instalación eléctrica	833.984
Tubos y tanques no estructurales	903.781
Accesorios de Equipo, Armamento e Instalaciones	920.851
TOTAL EQUIPO, ARMAMENTO E INSTALACIONES	9.478.788

Número total de horas: **400.000 horas**

4. MAQUINARIA AUXILIAR DE CUBIERTA.

MAQUINARIA AUXILIAR DE CUBIERTA	COSTE MATERIAL (€)
Equipo de gobierno	461.500
Equipo de fondeo y amarre	921.600
TOTAL MAQUINARIA AUX. CUBIERTA	1.383.100

Número total de horas: **2500 horas**

5. INSTALACIÓN PROPULSORA

INSTALACIÓN PROPULSORA	COSTE MATERIAL (€)
Turbina de Vapor	15.616.194
Línea de ejes	1.722.831
Hélice Propulsora y equipo asociado	1.586.740
TOTAL INSTALACION PROPULSORA	18.925.765

Número total de horas: **30.000 horas**

6. MAQUINARIA AUXILIAR DE LA PROPULSIÓN.

MAQUINARIA AUXILIAR DE PROPULSIÓN	COSTE MATERIAL (€)
Grupos electrógenos y generador de cola	732.500
Refrigeración y lubricación	575.697
Equipos generadores de vapor	104.130
Arranque de motores	38.439
Manejo de combustible	79.221
Equipos purificación	184.132
Equipos auxiliares de casco	246.478
Equipos sanitarios	71.033
Varios	270.344
TOTAL MAQUINARIA AUX. PROPULSION	2.301.975

Número total de horas: **30.000 horas**

7. PERTRECHOS Y RESPETOS

CARGOS, PERTRECHOS Y RESPETOS	COSTE MATERIAL (€)
Cargos no reglamentarios	218.511
Respetos especiales	691.412
TOTAL CARGOS, PERTRECHOS Y RESPETOS	909.923

Número total de horas: **1.000 horas**

8. INSTALACIONES ESPECIALES

INSTALACIONES ESPECIALES	COSTE MATERIAL (€)
Membrana tanques	7.500.000
Equipos especiales de estiba de la carga	970.056
Instalaciones eléctricas especiales, instrumentación y control	294.011
Instalaciones y equipos especiales contra incendios	117.112
Equipos especiales de estabilización y maniobra	311.191
TOTAL INSTALACIONES ESPECIALES	9.192.370

Número total de horas: **100.000 horas**

9. RESUMEN Y COSTE DE CONSTRUCCIÓN

Realizando el balance del coste de construcción obtenemos:

PRESUPUESTO BUQUE DE PROYECTO	
PARTIDA PRESUPUESTADA	COSTE TOTAL (€)
CASCO	19.698.200
EQUIPO, ARMAMENTO E INSTALACIONES	9.478.788
MAQUINARIA AUXILIAR DE CUBIERTA	1.383.100
INSTALACION PROPULSORA PRINCIPAL	18.925.765
MAQUINARIA AUXILIAR DE PROPULSION	2.301.975
CARGOS, PERTRECHOS Y RESPETOS	909.923
INSTALACIONES ESPECIALES	9.192.370
PRECIO DE CONSTRUCCION DEL BUQUE	61.890.121

Considerando el número de horas en cada concepto, y evaluando el coste de la mano de obra en 36 Euros / hora, obtenemos:

$$\text{Coste de mano de obra} = 36 \cdot \sum \text{horas} = 36 \cdot 1.375.000 = \mathbf{49.500.000 \text{ Euros}}$$

Por tanto, el coste total de materiales y mano de obra que se obtiene es:

$$\text{Coste mat. y mano de obra} = 61.890.121 + 49.500.000 = \mathbf{111.390.121 \text{ Euros}}$$

A este valor es necesario añadirle unos gastos generales por diversos conceptos, los cuales, los podemos resumir:

- Gastos varios del contrato
- Seguros
- Gastos de clasificación del buque y expedición de certificados
- Ensayos en canal
- Gastos pruebas de mar
- Gastos de ingeniería
- Previsión de garantía

Considerando que estos gastos ascienden al 3 % del valor obtenido, tendríamos:

$$\text{Gastos generales} = 0,03 \cdot 111.390.121 = 3.341.704 \text{ Euros}$$

Con esto es posible calcular el coste de construcción:

$$\text{Coste de construcción: Coste mat. y m.obra} + \text{Gastos Gen.} = 114.731.825 \text{ Euros.}$$

10. FINANCIACIÓN

10.1. BENEFICIO INDUSTRIAL DEL ASTILLERO

El valor del beneficio industrial se expresa como porcentaje del coste de construcción según la situación del mercado y la competencia. En nuestro caso tomaremos un 6 %, siendo pues:

Beneficio del astillero = 6 % Coste de construcción = 6.883.909 Euros.

10.4. CAPITAL PROPIO Y CAPITAL AJENO

En el caso de buques contruidos en España con crédito naval, el capital ajeno puede llegar a ser el 85% del valor total, excluida la prima, siempre que el armador pueda ofrecer suficientes garantías adicionales, además de la primera hipoteca sobre el buque. En caso contrario el porcentaje del crédito suele ser del 50% al 60%. Tomaremos como capital ajeno un 80% del valor total del buque.

$\text{Importe del crédito} = 0,8 \cdot 114.731.825 = 91.785.460 \text{ Euros.}$

El capital propio es la parte del valor del buque que cubre el armador con recursos propios, que será por tanto el 20% del valor total del buque.

CAPITAL PROPIO = $0,2 \cdot 114.731.825 = 22.946.365$ Euros.